



Escuela  
Politécnica  
Superior

# Caracterización de funcionalidades de los receptores GNSS en smartphones Android



Grado en Ingeniería Informática

## Trabajo Fin de Grado

Autor:

Adrià Segura Tarrasó

Tutor/es:

José Ángel Berná Galiano



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

Septiembre 2018

## **Guía para el Desarrollo de los Trabajos Fin de Grado y Fin de Máster.**

Este documento ha sido confeccionado a partir de la plantilla de recomendaciones y estilos de José Vicente Berna Martínez para el correcto desarrollo de un TFG del grado.

Mis agradecimientos al autor, por facilitarnos una buena base con la que definir nuestras ideas.

### **Versión del documento**

2018.10.14

### **Licencia**

Se permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, incluso con fines comerciales siempre y cuando reconozca y cite la obra de la forma especificada por el autor o el licenciante.



## Motivación

**E**n la actualidad, los receptores GNSS (Galileo, GPS, Glonass, etc.) se han integrado en la totalidad de “smartphones”, permitiendo a las aplicaciones móviles nuevas funcionalidades.

La ubicación de un dispositivo permite proporcionar un servicio más optimizado al usuario, así como aportar información vital en situaciones de emergencia, gracias a la geolocalización.

El uso de la información aportada por los dispositivos puede emplearse en ramas de la tecnología tales como las telecomunicaciones, inteligencia de negocios y bigdata, plataformas IoT, etc. También, en tareas de rescate y salvamento puede determinar con precisión la ubicación de un accidentado.

Por todo ello, la explotación de esta tecnología aporta un beneficio significativo, y descubrir las aplicabilidades de los receptores móviles resulta útil en el desarrollo de nuevas aplicaciones.

El objetivo con este TFG es caracterizar las prestaciones reales de los receptores GNSS en los dispositivos Android, explorando los límites en la obtención de los datos satelitales, como el posicionamiento (y precisión), en diferentes entornos y condiciones meteorológicas.

# Agradecimientos

A quienes persiguen el progreso, pero sin perder de vista la humanidad...

A mi madre...

...y aunque a veces no nos entendamos, a mi padre también.

Gracias a los dos por haberme apoyado en todos los caminos que he tomado en la vida. Os quiero mucho.

## Citas

“Lo que nos hace grandes, es el hecho de poder ver lo pequeños que somos.”

Martí Monteterrero

# Índice

Motivación .....	2
Agradecimientos .....	3
Citas .....	4
Índice .....	5
Índice de figuras .....	8
1. Introducción .....	9
2. Estado del arte. ....	10
2.1. Tecnología GPS .....	10
2.1.1. Historia y tipos de señal [2] .....	11
2.1.2. Mensajes de navegación .....	11
2.1.3. Características de la onda satelital.....	11
2.1.4. Factores en el medio que afectan a la calidad GPS.....	12
2.2. Receptores GNSS y SoCs en el mercado de smartphones .....	14
2.2.1. Uso de dispositivos GNSS en la actualidad.....	14
2.2.2. Broadcom® .....	14
2.2.3. Mediatek® .....	14
2.2.4. Qualcomm® .....	14
2.3. Recursos en el desarrollo de aplicaciones GNSS para Android .....	15
2.3.1. Librería android.location [9].....	15
2.3.2. Librería com.google.android.gms.location [12] .....	15
2.3.3. Framework Raw GNSS Measurements [13] .....	16
2.4. Mejoras tecnológicas que afectan a la calidad GNSS.....	17
2.4.1. Uso de A-GPS.....	17
2.4.2. Receptores multifrecuencia .....	18
2.4.3. Antena en el receptor .....	18
2.4.4. Corrección mediante SBAS.....	19
2.4.5. Optimización mediante código y procesado .....	19
3. Objetivos .....	21
4. Metodología y herramientas.....	22
4.1. Herramientas en el desarrollo.....	22
4.1.1. Control de versiones .....	22
4.1.2. Entorno de desarrollo .....	22
5. Análisis y especificación .....	23

5.1.	Tabla de requisitos .....	24
5.1.1.	Requisitos funcionales.....	24
5.1.2.	Requisitos no funcionales .....	24
6.	Diseño.....	25
6.1.	Diseño de la arquitectura .....	25
6.2.	Diseño de la persistencia.....	26
6.3.	Diseño de la arquitectura tecnológica Front/Back-end .....	27
6.4.	Diseño de interfaces.....	28
6.4.1.	Interfaz principal .....	28
6.5.	Diseño de pruebas y validación.....	28
6.5.1.	Validación de la tecnología GNSS en el entorno .....	29
6.5.2.	Validación de las zonas en el estudio de campo .....	30
6.5.2.1.	Zona: Puerto deportivo, El Campello .....	31
6.5.2.2.	Zona: Interior, Habitación con ventana .....	32
6.5.2.3.	Zona: Partida Xixi, El Campello .....	33
6.5.2.4.	Zona: Calle frente a descampado.....	34
6.5.2.5.	Zona: Área metropolitana, Alicante .....	35
6.5.2.6.	Zona: Túnel de paso, bajo autopista .....	36
6.5.2.7.	Zona: Campo de fútbol, Parque .....	37
6.5.2.8.	Zona: Pineda, Universitat d'Alacant .....	38
7.	Implementación .....	39
7.1.	Aspectos abordados en la primera fase .....	39
7.2.	Apunte sobre las fases en el proyecto .....	40
8.	Pruebas y validación.....	41
8.1.	Variables de entorno en el estudio de la tecnología GNSS .....	41
8.2.	Dispositivos empleados en la recepción GNSS.....	42
8.2.1.	Bluboo Maya Max 6.0'' .....	42
8.2.2.	Asus Zenfone 6 .....	42
8.2.3.	Samsung Galaxy J5 (2016) .....	42
8.2.4.	Samsung Galaxy J5 (2017) .....	42
9.	Resultados obtenidos en el estudio de campo .....	43
9.1.	Datos de navegación en distintos dispositivos.....	43
9.1.1.	Apunte sobre los URE negativos .....	43
9.2.	Mediciones durante el uso de A-GPS.....	44
9.3.	Características de la señal en zona de baja cobertura .....	44
9.4.	Características de la señal en zona arbolada .....	45

9.5.	Características de la señal en interiores de vivienda .....	45
9.6.	Navegación GNSS durante distintas condiciones de batería .....	46
9.7.	Capacidad de recepción en zonas metropolitanas .....	46
10.	Conclusiones y reflexiones .....	47
10.1.	Respecto al alcance de las tecnologías actuales .....	47
10.2.	Prestaciones detectadas en el uso de la mejora de red, A-GPS.....	48
10.3.	Análisis de la calidad de señal en zona de baja cobertura .....	49
10.3.1.	Demostración del efecto multipath y reflexión de señal .....	49
10.4.	Características de la señal en zona arbolada .....	50
10.4.1.	Impacto de la memoria caché del dispositivo.....	50
10.5.	Comparativa de la señal en interiores y exteriores de vivienda .....	51
10.5.1.	Sobre la cobertura y consistencia de señal en interiores .....	51
<b>10.6.</b>	<b>Diferencias de la calidad GNSS entre dispositivos</b> .....	<b>52</b>
10.6.1.	Correlación de precisión con el número de satélites en el posicionamiento .....	52
10.6.2.	Apreciación sobre la capacidad técnica del dispositivo .....	53
<b>10.6.3.</b>	<b>Fiabilidad de un dispositivo en el posicionamiento</b> .....	<b>53</b>
10.6.4.	Importancia del desgaste del dispositivo en la fiabilidad .....	54
10.7.	Capacidad de recepción en condiciones de batería baja .....	54
10.8.	Caracterización de señal en zonas metropolitanas.....	55
10.8.1.	Importancia de la corrección de señal en el posicionamiento GNSS (monofrecuencia).....	55
11.	Trabajo futuro .....	56
11.1.	Ampliación en las funcionalidades y servidor de análisis .....	56
11.2.	Reflexión sobre casos futuros en el estudio con ‘smartphones’ .....	56
11.3.	Aplicabilidad en el ámbito comercial y empresarial .....	56
11.4.	Actualización del sistema operativo en Bluboo Maya Max .....	56
	Referencias.....	57
	Apéndice I: Ejemplos de uso de Google Maps y com.google.android.gms .....	59
	Apéndice II: Mediciones experimentales durante la fase inicial de pruebas.....	60
	Apéndice III: Correo del GSC acerca del dispositivo Bluboo Maya Max. ....	61



## Índice de figuras

Figura 1. Gráfico de ventas de dispositivos móviles en 2017 .....	9
Figura 2: Esquema del efecto de multi-path .....	13
Figura 3: Mensaje de activación de A-GPS en Android .....	17
Figura 4: SoC Multifrecuencia BCM47755.....	18
Figura 5: Esquema funcional de SBAS .....	19
Figura 6: Ejemplo sencillo de lecturas en un plano [14] .....	21
Figura 7: Diagrama de secuencia de la aplicación base [40] .....	25
Figura 8: Esquema de persistencia mediante ficheros de log.....	26
Figura 9: Esquema de la arquitectura de proyecto .....	27
Figura 10: Diseño de la interfaz de principal.....	28
Figura 11: Ejemplo de definición de zona para el entorno de pruebas .....	30
Figura 12: Interfaz principal de la aplicación.....	39
Figura 13: Ejemplo de uso de Google Maps.....	59
Figura 14: Ejemplo de uso de com.google.android.gms en una aplicación.....	59

# 1. Introducción

El estudio girará en torno a la casuística de la geolocalización, concretamente, con receptores GNSS de dispositivos móviles Android de gama media. La finalidad de realizar el proyecto en torno al contexto citado es reducir el tamaño del proyecto, sin que esto afecte realmente al estudio que se pretende realizar.

Como muestra el siguiente gráfico de sectores, el sistema operativo Android predominó en volumen de ventas en el año 2017[1].



*Figura 1. Gráfico de ventas de dispositivos móviles en 2017*

Con este proyecto no se pretende desarrollar una aplicación multiplataforma, con funcionalidades atractivas para el usuario ni especialmente amigable, sino tratar con las tecnologías de navegación satelital actuales para determinar su rendimiento en posibles situaciones de uso.

Por lo que, para simplificar el ámbito del proyecto, reduciremos nuestro estudio a una sola plataforma que, para el caso, será suficiente.

Además, hay otro motivo en esta decisión: el elemento físico encargado de la recepción y de su procesamiento (el SoC) en los dispositivos que formen parte en el estudio debe ser identificable, pues su modelo definirá las tecnologías y prestaciones que influyen en la recepción y el posicionamiento.

Así pues, identificar el modelo del dispositivo y sobre todo el modelo de procesador es un aspecto determinante para la realización de un análisis, cuanto menos, coherente.

## 2. Estado del arte.

Como ya se ha mencionado, el estudio se centrará en la obtención del posicionamiento haciendo uso de dispositivos móviles. Ya se ha mencionado también, que hemos acotado el ámbito de estudio a dispositivos Android de gama media, con el fin de controlar mejor los factores que influyen en los datos generados (datos de análisis).

Por ello, para la resolución del proyecto, ya se vislumbran ciertos objetivos, tecnologías y herramientas que estarán fuertemente relacionadas con el ámbito del proyecto y que, desde luego, quedarán detalladas en los correspondientes apartados.

No obstante, es lo propio introducir, no solo los conceptos teóricos relativos a la señal, así como hablar un poco de los chipsets receptores del mercado, sino también, introducir ciertas herramientas y librerías que, como más adelante se verá, resultan casi indispensables en el desarrollo del proyecto.

### 2.1. Tecnología GPS

Hablar de las tecnologías de navegación global implica conocer aspectos de la tecnología satelital. Lo que se pretende con este apartado es hacer ver la amplitud de factores que afectan directamente al análisis de señales, solo explicando una parte de la historia de GNSS, como es, la aparición del primer sistema de navegación por satélite; GPS.

Por supuesto, el apartado se centra en los aspectos tecnológicos. Son conceptos básicos para el entendimiento de la tecnología en sí, a varios niveles.

Recálquese la intención de mostrar el amplio abanico de protocolos, frecuencias, modulaciones y tipos de datos que se manejan en la comunicación satelital, con el fin de obtener (entre otras cosas) el posicionamiento global, además de otras tecnologías cuyo objetivo es mejorar dicho posicionamiento.

Estos factores aportarán un entendimiento más amplio en el análisis de los datos: no solo es cuestión de si los satélites pertenecen a la tecnología GPS o GLONASS, sino que dentro de cada tecnología podrá haber distintas bandas de frecuencia, distinta precisión, etc.

“Mucha gente cree que los satélites GPS son geoestacionarios, pero no es así: **orbitan a unos 20.200 km de altitud** (la órbita geoestacionaria está a 35.700 km) por lo que se van moviendo, dando vueltas a la Tierra.”

(Microsiervos - Alvy, 2015)

### 2.1.1. Historia y tipos de señal [2]

Los satélites GPS<sup>1</sup> (Global Positioning System) transmiten ondas de radio a través de la atmósfera en dirección a la superficie terrestre. Los receptores captan dichas señales de forma asíncrona para calcular su propia posición respecto a un sistema global de espacio en tres dimensiones, haciendo uso de un método matemático llamado **trilateración**<sup>2</sup> (coloquialmente llamado, triangulación).

Las señales empleadas por los satélites se pueden separar en dos tipos:

- Señales de Rango: Usadas para determinar la distancia (en línea recta) con el receptor.
- Señales de Navegación: Incluyen los datos de “efemérides satelitales”<sup>3</sup>, el estado de los satélites, y el tiempo atómico de estos.

Originariamente, GPS transmite una señal de rango conocida como código de grosor/captación, o **C/A** por sus siglas en inglés. Dicho código, consiste en una señal de pseudo-ruido conocida como **PRN**, de 1023 bits de longitud y transmitida mil veces por segundo (1023Mbps). Esta señal, por tanto, difícilmente será similar o confundible con la de otros satélites [3], además permitiendo múltiples accesos al canal mediante CDMA [4].

Se define también otro tipo de señal de rango, de carácter militar, llamada código de precisión (P-Code), basada en el mismo principio que PRN, con una longitud mayor y cifrada.

### 2.1.2. Mensajes de navegación

Ya se ha mencionado que los datos transmitidos en las señales de navegación contendrán la hora atómica, las efemérides, e información relativa al estado de la constelación satelital (almanaque). Dichos datos se transmiten modulados junto con el C/A del satélite.

La validez de los mensajes varía según los datos que contiene. Por ejemplo, el almanaque contiene información general de la constelación y el estado de “salud” de los satélites, considerándose válida durante unos 180 días. Por otro lado, los mensajes de efemérides son más específicos y tienen una validez más corta, de no más de cuatro horas [2].

Los mensajes se transmiten en tramas de 1500 bits, a su vez compuestas de subtramas que contienen los mensajes descritos. Originariamente, los mensajes son transmitidos a 50 bps.

### 2.1.3. Características de la onda satelital

Conocer las características de la onda satelital en términos de frecuencia de transmisión y protocolos, nos acerca al entendimiento en el proceso comunicativo de los sistemas de navegación. No tener claros estos conceptos, impediría entender las diferencias entre chips de recepción, ya que NO todos los receptores son capaces de interpretar las mismas señales.

Aspectos como la modulación de la señal portadora y la frecuencia de ésta, determinarán el paso de mensajes, así como el alcance de la señal y el aprovechamiento del medio [5].

---

<sup>1</sup> Sistema de posicionamiento global. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/GPS>

<sup>2</sup> Trilateración. Wikipedia. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Trilateraci%C3%B3n>

<sup>3</sup> Efemérides satelitales. Disponible en: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ephemeris>

Continuando con la historia de la tecnología GNSS, en sus orígenes los satélites GPS transmiten solo en dos bandas de frecuencia:

- **L1** – 1575,42 MHz
- **L2** – 1227,60 MHz

Mientras que el C/A se transmite en la banda de frecuencia L1 y modulación BPSK<sup>4</sup>, el P(Y) de las señales P-Code se transmite usando ambas bandas de frecuencia L1 y L2, lo cual permite transmitir señales con mayor tolerancia al ruido del medio físico y permite medir el llamado “desfase ionosférico”, fenómeno por el cual los gases ionizados de la superficie atmosférica producen un efecto de refracción en las ondas transmitidas [6]. Para corregir dicho desfase en el ámbito civil del uso de GPS (L1), se emplean métodos de corrección por parte de terceros en la comunicación, tales como WAAS o EGNOS (véase ‘Corrección mediante SBAS’).

Posteriormente, se realizan mejoras en la tecnología para aumentar la precisión y la disponibilidad de los datos GPS. Así pues, aparece la banda **L2C**, de uso civil, llamada así por transmitir en la misma frecuencia que L2. El tipo de señal L2C emplea dos PRN distintos y requiere de hardware específico que solo se encuentra a partir de los modelos de satélite “Block IIR-M” [2].

En la actualidad, los satélites GPS transmiten en L1, L2, L2C, **L5** y **Q5**, entre otras bandas de frecuencia, para dar soporte a las necesidades actuales de la navegación.

#### 2.1.4. Factores en el medio que afectan a la calidad GPS

La señal de satélite, como cualquier onda de radio, se puede ver influenciada por efectos en el medio físico, tales como refracción y reflexión, alterando la dirección de onda y dando lugar a errores en el posicionamiento. Por otro lado, la señal puede verse afectada por bloqueos, ruido y atenuación en el medio (la atmósfera). Todos estos, son principios básicos vistos durante las asignaturas de Redes de Computadores y Fundamentos Físicos de la Informática.

Según la Web Oficial Gubernamental de la Tecnología GPS [17], la tecnología GPS por sí sola tiene una **precisión radial** típica de 4.9 metros bajo cielo abierto, viéndose empeorada cerca de edificios, puentes o árboles.

“To calculate its position, a GPS device measures its distance (range) from multiple GPS satellites.”

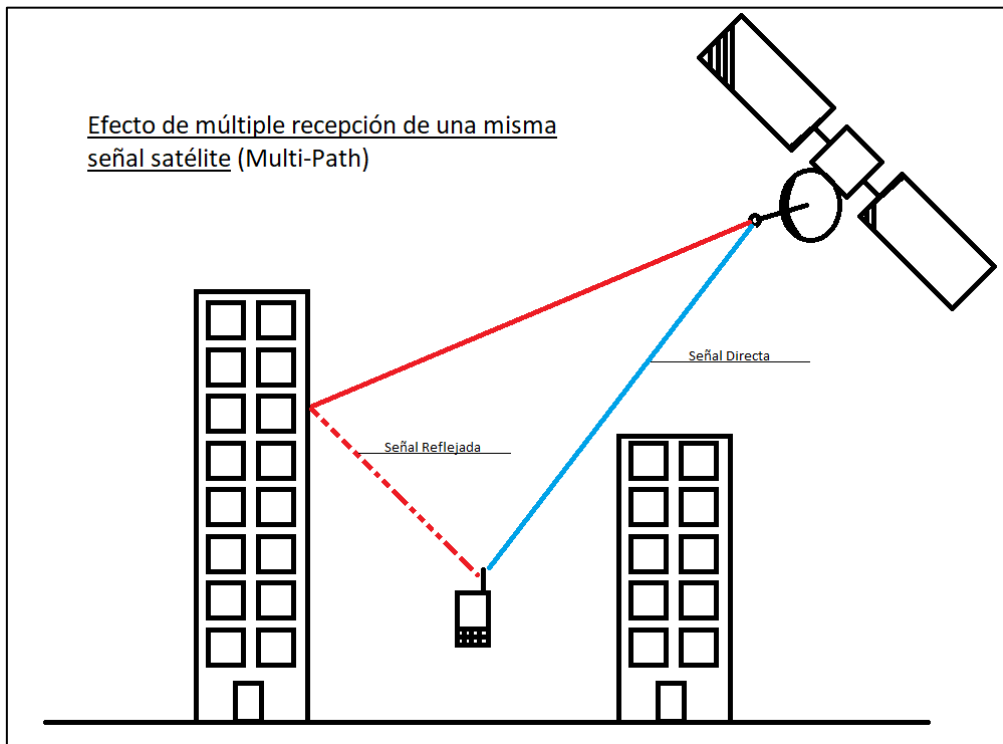
(The National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation and Timing, 2017)

---

<sup>4</sup> Sobre modulación PSK. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift\\_keying#Binary\\_phase-shift\\_keying\\_\(BPSK\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying#Binary_phase-shift_keying_(BPSK))

Algunos de los factores del medio descritos de forma oficial como principales causas de error en el posicionamiento son:

- Bloqueos en el entorno (por edificios, puentes, árboles...).
- Uso de GPS en interiores.
- Reflexión de la señal en edificios ("multi-path").



*Figura 2: Esquema del efecto de multi-path*

Otras propiedades descritas sobre la tecnología GPS en sus documentos oficiales de rendimiento, describen **rangos de error de uso (URE)** menores a 7.8 metros en el 95% de los casos, lo que significa que, a parte de la precisión dada, podemos tener cierto error en el posicionamiento. En la actualidad, las mejoras de la tecnología aseguran una media de URE inferior a los 0.715 metros.

“Multipath occurs when a GNSS signal is reflected off an object, such as the wall of a building, to the GNSS antenna.

Because the reflected signal travels farther to reach the antenna, the reflected signal arrives at the receiver slightly delayed. This delayed signal can cause the receiver to calculate an incorrect position.”

(Novatel Inc., s.f.)

## 2.2. Receptores GNSS y SoCs en el mercado de smartphones

El componente principal para la recepción GNSS en ‘smartphones’ es el SoC (System on a Chip), comúnmente llamado “procesador”.

Este apartado no es más que una mención al mercado de los SoCs, tratando de recalcar su presencia en el ámbito cotidiano, para finalmente derivar en la presencia de empresas concretas dedicadas al desarrollo de los procesadores/receptores GNSS, factor que ayuda a determinar y distinguir el alcance de cada dispositivo en la recepción, como ya se ha mencionado antes.

### 2.2.1. Uso de dispositivos GNSS en la actualidad

El uso de un sistema de navegación satelital para la vida diaria se hace visiblemente necesario en países desarrollados. La integración de nuevas tecnologías de uso cotidiano hace indispensable que estemos permanentemente conectados y localizados. Se estima que para el año 2023, se dispondrá de **entre 2,3 y 2,5 dispositivos GNSS por persona** en la mayoría de las regiones del hemisferio norte [7].

### 2.2.2. Broadcom<sup>©</sup>

**Broadcom** es una de las compañías más competentes en el mercado de las tecnologías GNSS y dispone de una gama de SoCs que son los que encontraremos en los dispositivos Android más comunes.

Según su aplicabilidad y el soporte a las distintas tecnologías GNSS, en el momento de la investigación se destacan los siguientes modelos:

- SoC **BCM47774** para “smartphones”: Permite soporte para constelaciones GPS, GLONASS, SBAS, QZSS y BeiDou.
- SoC **BCM47748** para “smartphones”: Permite soporte para constelaciones GPS y GLONASS.
- SoC **BCM47755** para “smartphones”: Permite soporte para constelaciones GPS L1- L5, Galileo E1-E5a, GLONASS L1, BeiDou B1, QZSS L1-L5.

La compañía comercializa algunos otros productos que podemos consultar en la web oficial [8].

### 2.2.3. Mediatek<sup>©</sup>

Es otra de las compañías cuyos SoCs encontraremos en dispositivos móviles actuales. Un ejemplo de SoC de Mediatek es el **MT6750** que da acceso a la recepción de constelaciones GPS, Galileo, Glonass y Beidou.

Podemos consultar las especificaciones técnicas del MT6750 desde la web oficial del producto [20].

### 2.2.4. Qualcomm<sup>©</sup>

Compañía desarrolladora de tecnología de dispositivos móviles, que también comercializa sus propios modelos de SoC, entre ellos el **Snapdragon 845** con acceso a GPS, Glonass, Galileo y Beidou. Podemos encontrar una comparativa oficial de sus productos en la siguiente web [24].

## 2.3. Recursos en el desarrollo de aplicaciones GNSS para Android

Puesto que el análisis de señal se centra en dispositivos Android, es más que probable la necesidad en el desarrollo de, al menos, una aplicación capaz de captar la calidad en la recepción de señales GNSS.

No obstante, la decisión de desarrollar una aplicación o usar una ya existente es un aspecto que no nos atañe por ahora. Simplemente se hablará del conjunto de herramientas disponibles para la obtención de los datos de navegación a nivel programación.

### 2.3.1. Librería `android.location` [9]

El conjunto de librerías que encontramos para el desarrollo en Android alberga métodos para tratar directamente con los atributos que intervienen en la geolocalización y navegación satelital. El API **`android.location`** contiene, entre otras, las siguientes clases útiles:

- **GnssMeasurement:** Esta clase de `android.location` dispone de métodos para conocer la fase de la portadora, aspecto indispensable para calcular con precisión milimétrica la distancia entre el satélite y el propio receptor [10], entre otros aspectos. Permite, además, conocer aspectos relativos al tipo de constelación satelital [11].
- **GnssStatus:** Dispone de métodos de orientación y disposición espacial del satélite, tales como el valor de Acimut<sup>5</sup>. Funciona en conjunto con `GnssStatus.callback`. También permite conocer datos sobre la integridad (salud) de la constelación satelital<sup>6</sup>.
- **GpsStatus y GpsSatellite:** Son clases consideradas como desactualizadas en el cálculo y la obtención de valores relativos a las señales satélite. No obstante, son las usadas en versiones menos modernas de Android (hasta Android 6.0).
- **Location:** Consta de diversos métodos relativos al posicionamiento del receptor con respecto a otro punto destino. También implementa métodos de posicionamiento en altitud, latitud y longitud. Permite además conocer la precisión radial en metros, la velocidad del dispositivo (si se encuentra en movimiento), y alterar los valores de la localización y precisión actuales del dispositivo (falsear los valores).
- **LocationManager:** Permite gestionar e invocar eventos relativos a la clase `Location`.

### 2.3.2. Librería `com.google.android.gms.location` [12]

Es la librería recomendada por Google para obtener la posición de los usuarios, pues dicho API está pensado para integrarse con los servicios de Google, tales como Google Maps.

Las aplicaciones creadas con esta librería se basan en la creación de una instancia de la clase Geofence, que representa una región geográfica por donde navegan los usuarios en tiempo real (clase `GeofencingClient`) y generan actividad al moverse por el plano virtual (clase `ActivityTransition`). Véase [Apéndice I: Ejemplos de uso de Google Maps y `com.google.android.gms`].

---

<sup>5</sup> Acimut. Wikipedia. Más información: <https://es.wikipedia.org/wiki/Acimut>

<sup>6</sup> Almanaque. Fred Zahradnik, artículo sobre GPS. <https://www.lifewire.com/fred-zahradnik-1683230>



### 2.3.3. Framework Raw GNSS Measurements [13]

Con el lanzamiento de la versión Nougat 7.0 de Android, se abre la posibilidad de recolectar datos de señal directos del receptor, sin procesar, para uso comercial en el desarrollo de nuevas e interesantes aplicaciones basadas en GNSS.

Raw GNSS Measurements es un framework oficial que nos ofrece una serie de herramientas de obtención y análisis de los datos de señal en crudo para ciertos dispositivos con el fin de dar soporte al testeo de nuevas funcionalidades, algoritmos y mejoras en la tecnología GNSS.

La aplicación cliente se instala en el dispositivo móvil, permitiendo que este genere reportes (logs) de datos sobre la señal recibida. Dichos reportes se envían a la aplicación servidor, donde son interpretados y representados de forma gráfica para su análisis. El servidor puede autogenerar un análisis escrito basado en valores y límites configurables, de modo que podemos establecer unos rangos que definan los grados de 'calidad' de la señal recibida.

Este conjunto de funcionalidades hace del framework, una herramienta muy poderosa en el estudio en bruto de la señal.

Podemos consultar información muy útil sobre la aplicabilidad de 'raw GNSS measurements' en el libro blanco de la tecnología:

[https://www.gsa.europa.eu/system/files/reports/gnss\\_raw\\_measurement\\_web\\_0.pdf](https://www.gsa.europa.eu/system/files/reports/gnss_raw_measurement_web_0.pdf)

Es un aspecto de la tecnología GNSS que se sale del alcance de este proyecto, pero representa el futuro en las herramientas de análisis de navegación para los dispositivos más modernos y a más bajo nivel (análisis de la señal en crudo).

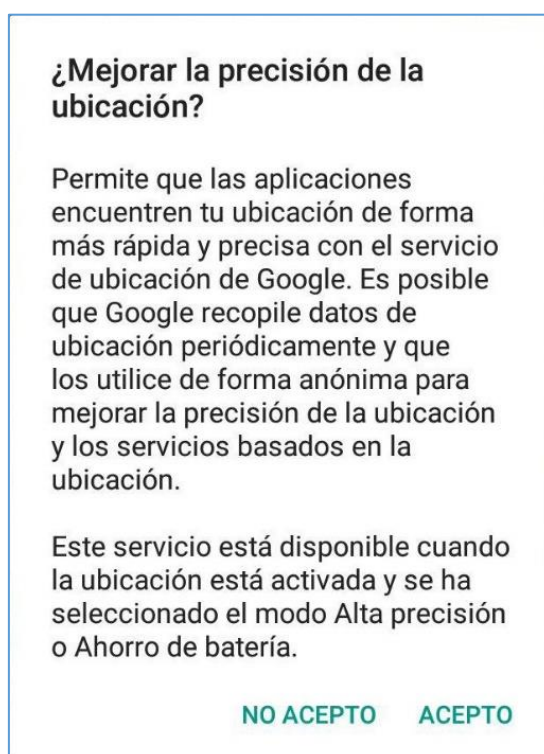
## 2.4. Mejoras tecnológicas que afectan a la calidad GNSS

A lo largo de la trayectoria de GNSS, se han desarrollado mejoras en el aprovechamiento, en los receptores y en la logística para garantizar un posicionamiento más preciso y más rápido.

En el presente apartado se describen las mejoras más influyentes, que deberán tenerse en cuenta durante los análisis, ya que de lo contrario no seremos capaces de entender los resultados adecuadamente y las conclusiones extraídas serán erróneas de necesidad.

### 2.4.1. Uso de A-GPS

Uno de los principales elementos tecnológicos de apoyo en la navegación por satélite, es el GPS Asistido, o **A-GPS** por sus siglas en inglés. Entenderemos por A-GPS, a la obtención de datos para el posicionamiento a través de internet o cualquier red no-satelital.



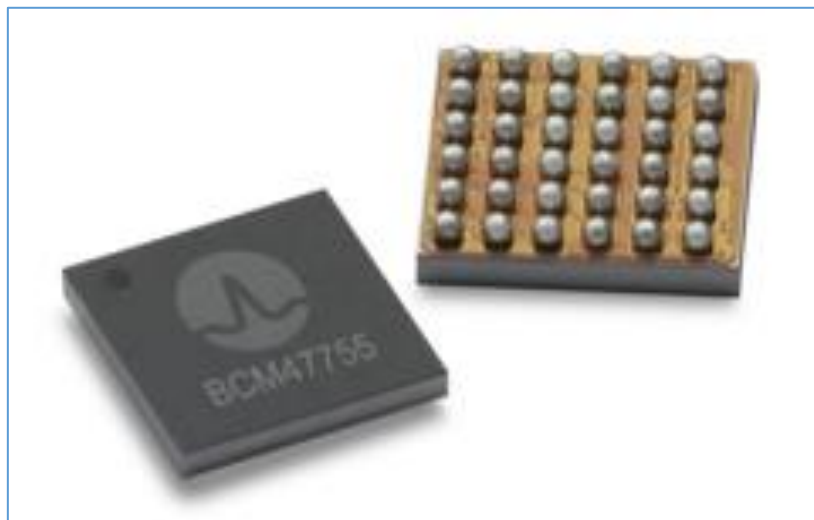
*Figura 3: Mensaje de activación de A-GPS en Android*

Esencialmente, consiste en la obtención de los datos de posicionamiento a través de internet, en conjunto a la cobertura satélite disponible, dando acceso a la “recepción” de satélites distantes y no accesibles.

### 2.4.2. Receptores multifrecuencia

Si recordamos el aprovechamiento de las bandas de frecuencia del que se habla en el apartado de 'Características de la onda satelital', cuando hablábamos de las bandas de frecuencia definidas en el origen de GPS existe L1 (1575,42 MHz) y L2 (1227,60 MHz) y se habla de cómo los mensajes transmitidos por el satélite aprovechan L1 y L2 conjuntamente para obtener una señal más potente y de uso militar (mayor ancho de banda y mayor ratio de transmisión de bits).

En el mercado de los receptores GNSS y debido a las restricciones de los sistemas móviles, se comercializan dispositivos "económicos", preparados para aprovechar una sola frecuencia a la vez. Con el progreso de la tecnología, en 2017, Broadcom® anuncia el primer receptor multifrecuencia para 'smartphones' [18].



*Figura 4: SoC Multifrecuencia BCM47755*

Hablamos del chipset ya mencionado BCM47755. Gracias al amplio espectro de la señal recibida conjunta de las bandas de frecuencia L1/E1 + L5/E5, es capaz de corregir y prevenir desfases de onda. Además, el aprovechamiento de las frecuencias de Galileo abre al receptor una nueva constelación disponible en la recepción, y el uso de las frecuencias más avanzadas E5a/L5 reduce el efecto 'multi-path' mencionado en el apartado de 'Factores en el medio que afectan a la calidad GPS', consiguiendo unas precisiones de hasta 0.30 metros. [19].

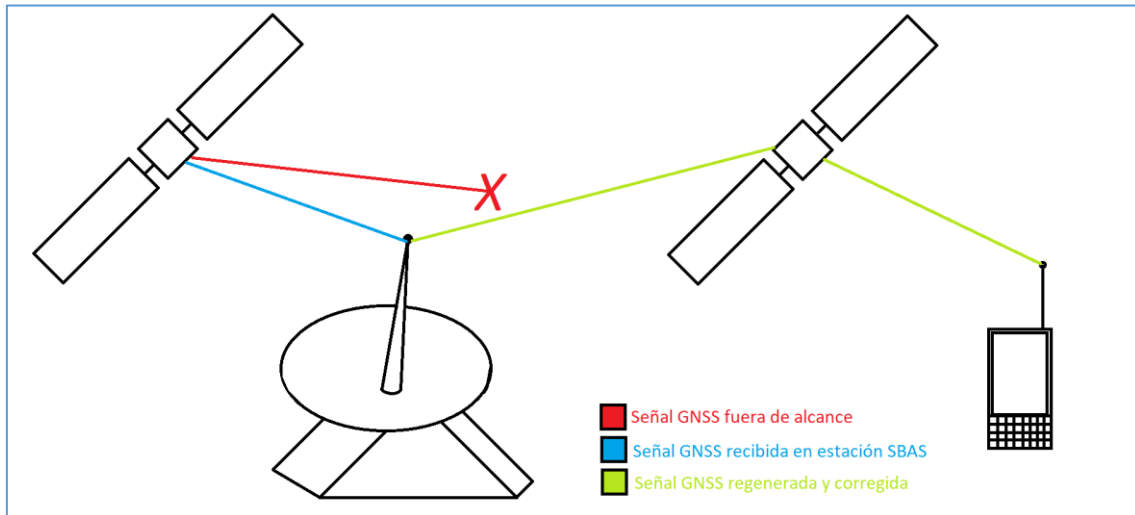
### 2.4.3. Antena en el receptor

La antena es el elemento del dispositivo que capta la señal y la transmite al SoC. Es un aspecto relevante en la recepción, pero su estudio implicaría conocimientos a más bajo nivel que escapan a la temática del proyecto en cuestión.

La desviación producida por las diferencias de calidad en antenas se mide en mili-ciclos de la fase de la portadora y representan una imprecisión en la recepción de esta, empeorando el cálculo de la distancia con el satélite de la señal.

#### 2.4.4. Corrección mediante SBAS

La tecnología SBAS de corrección (Satellite Based Augmentation System) consiste en la utilización de estaciones terrestres con gran capacidad de recepción, que regeneran y corrigen los errores de la señal satélite para retransmitirlos de nuevo a satélites propios de aumento.



*Figura 5: Esquema funcional de SBAS*

Los receptores SBAS (más potentes que un receptor móvil) captan las señales satelitales y realizan los cálculos de corrección para los desfases causados por la atmósfera (aspecto expuesto en 'Características de la onda satelital'). Posteriormente, la onda corregida es reenviada al sistema satelital del SBAS para que este retransmita la señal regenerada a los receptores.

La operabilidad de los SBAS suele ser a niveles nacionales e internacionales. Algunos de los sistemas SBAS existentes alrededor del globo son:

- WAAS – Estados Unidos.
- EGNOS – Europa.
- QZSS – Japón.
- GAGAN – India.
- StarFire – John Deere.

El caso más característico es el SBAS de la compañía de maquinaria agrícola John Deere®, de uso exclusivo para dar servicio de navegación autónoma a sus clientes. (Véase 'Respecto al alcance de las tecnologías actuales').

#### 2.4.5. Optimización mediante código y procesado

Es posible optimizar los sistemas de recepción a nivel de procesado y firmware para mejorar ciertas funcionalidades de un dispositivo en el cálculo del posicionamiento. No obstante, es un aspecto del análisis de señal que escapa a los objetivos de este proyecto [58].

Existe una tecnología llamada RTK, consistente en terminales estáticos de recepción capaces de corregir y regenerar la señal en tiempo real para retransmitirla a una serie de dispositivos

móviles en alcance. Un símil presente en asignaturas del Grado, sería el de los 'Access Point' (AP) en redes Wifi, dando cobertura GNSS a los dispositivos conectados.

Las correcciones de fase de la portadora de los sistemas RTK son capaces de proporcionar precisiones submétricas en la navegación.

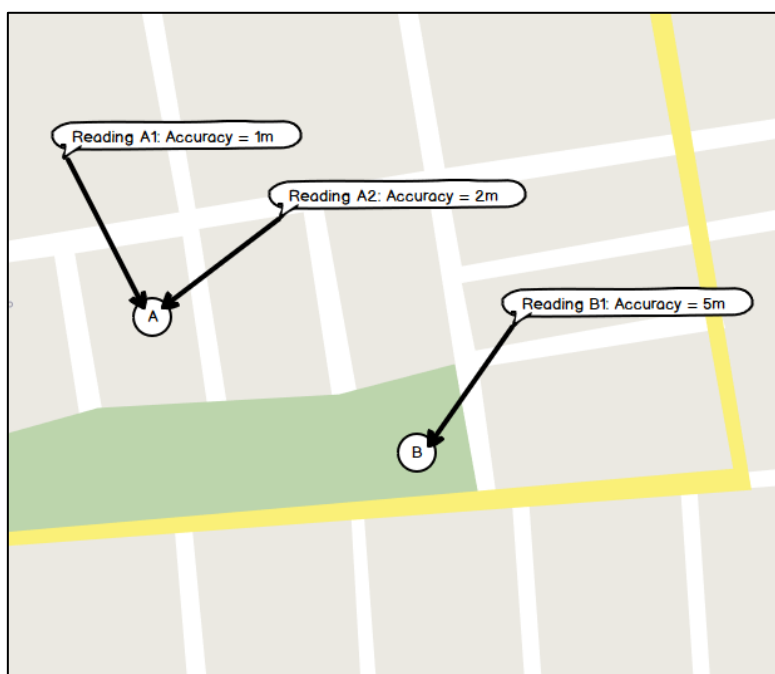
### 3. Objetivos

Para abordar la caracterización de la señal, es necesario poder acceder a las características de esta. Para ello, aplicaremos los conocimientos adquiridos en el estado del arte, y conocimientos del grado tales como la programación, planificación y diseño de soluciones software, conocimientos del medio físico de la señal, el uso de librerías y herramientas en distintos lenguajes, etc.

De este modo, se pretende obtener una solución software con la que posteriormente realizar un análisis de las características de señal (precisión, error (URE), tiempo (TTF), satélites, señal/ruido...) en distintos contextos de entorno y meteorología, vigilando también las tecnologías que pudieran afectar a los valores obtenidos, tales como las descritas en el estado del arte (modelo de SoC, AGPS...), así como otros factores que indiciariamente afecten a la calidad (batería del dispositivo, caché de navegación, materiales bloqueantes...).

El contexto de los datos también puede depender de la aplicación que se le quiera dar a éstos; por ejemplo, si quisiéramos analizar la calidad de recepción exclusivamente en alta mar (por que el objetivo fuese ese en concreto) entonces no necesitaríamos pensar en el entorno, pues en alta mar siempre es “cielo abierto”. Por el contrario, si quisiésemos analizar la recepción en interiores, quizás nos interesaría matizar el material de las paredes (metal, cemento, madera) y su grosor. **La idea del proyecto presente de análisis es un ámbito general y cotidiano.**

En cuanto al alcance del desarrollo, en su primera instancia, será el suficiente para obtener los datos de posición/precisión dentro de un contexto lo más amplio posible, donde se estima controlar el modelo del dispositivo, los satélites que recibe (y con qué SNR<sup>7</sup>), el entorno y la influencia de tecnologías que asisten en el posicionamiento.



*Figura 6: Ejemplo sencillo de lecturas en un plano [14]*

<sup>7</sup> Relación Señal/Ruido, concepto estudiado en la asignatura de Redes de Computadores.

## 4. Metodología y herramientas

En base a los objetivos definidos, resalta como la opción más evidente el desarrollo de una aplicación específica para la obtención de los datos de navegación, haciendo uso de las librerías pertinentes ya citadas.

Más allá del uso de las librerías y funciones del propio entorno Android, la aplicación no requiere un desarrollo extenso ni complejo para cumplir los requisitos previstos, sino que será suficiente con ser capaces de extraer datos que el propio dispositivo genera.

No obstante, es la primera vez que me enfrente al desarrollo de una aplicación científica en el campo tratado de la geolocalización satelital; todo lo relativo al tema es nuevo y los requerimientos, probablemente, sean algo inesperados.

De modo que, la mejor opción para el proyecto es adoptar una metodología flexible con la que poder reestructurar las funcionalidades y restricciones que se vayan detectando conforme transcurre el propio desarrollo. Por ello, se irán marcando en el apartado de Análisis y Especificación todos los requerimientos que vayan surgiendo junto con los que a priori se puedan esperar en base a los objetivos.

En este sentido, no cabe esperar un Lean porque no se pretende aportar un valor directo, aunque pudiera plantearse de este modo. Tampoco creo que debiese esperarse adoptar una metodología Scrum en el sentido de que no tratamos de cubrir unas metas de tiempo ni de progreso, el objetivo es claro y simple, y todo el proceso pasa por un único desarrollador. Lo único que cabe controlar es la veracidad de los datos de salida en un desarrollo mínimo.

### 4.1. Herramientas en el desarrollo

Es de esperar el uso de ciertas herramientas para mantener un proyecto de este tipo, más aún, teniendo en cuenta lo definido en los objetivos. Mediante el presente apartado se pretende aportar una descripción de las herramientas empleadas en la construcción y preservación del proyecto durante su desarrollo. La intención es aclarar el porqué del uso de estas herramientas.

#### 4.1.1. Control de versiones

Es indispensable en todo proyecto de desarrollo mantener un control de versiones limpio con el que poder regenerar el proyecto, crear ramas, depurar fallos introducidos... El VCS (Version Control System) elegido será la herramienta Git, estándar de facto, y explicada a partir de la asignatura de Herramientas Avanzadas para el Desarrollo de Aplicaciones y durante todo el grado. Así pues, se ha creado un repositorio en la nube, aprovechando los recursos que ofrece Bitbucket de forma privada y totalmente gratuita, tal y como se ha usado en otras asignaturas.

#### 4.1.2. Entorno de desarrollo

Para el caso, el IDE que nos interesa será Android Studio; el entorno oficial para el desarrollo en Android. La herramienta nos aporta un entorno productivo y limpio a través de un potente editor de código, compilación, emulación, control de versiones, librerías... y demás facilidades que lo convierten en una elección poco o nada discutible.

## 5. Análisis y especificación

Durante este apartado se resumen las funcionalidades y requerimientos en forma de sentencias, para luego extraer una tabla de requisitos funcionales y no funcionales.

Comencemos hablando por las tecnologías implicadas: necesitamos una aplicación, para el caso, que debe ser desarrollada para el sistema operativo Android de dispositivos móviles. Teniendo en cuenta que se habló de que el alcance trataría de acercarse a los dispositivos Android de gama media, surge una restricción con la versión para la cual deberíamos desarrollar, y es que las librerías disponibles para la obtención de datos GNSS en dispositivos a partir de la versión Android 7.0 cambia con respecto a las anteriores; es cuando surge Raw GNSS Measurement.

Según fuentes estadísticas [16] basadas en los accesos a Google Play Store, el uso de la versión Marshmallow(6.0) en dispositivos Android ha sido marcadamente superior al resto de versiones, incluida la versión Nougat(7.0), y en base a los gráficos, se puede esperar su uso en dispositivos de gama media en una relativa actualidad, suficiente para estimar como requerimiento la **compatibilidad con la versión Marshmallow**, haciendo uso de los métodos disponibles para dicha versión.

En otro orden, hablando de los datos necesarios para analizar la calidad GNSS, necesitamos poder **obtener y visualizar** los datos relativos a dicha calidad, tales como: **Latitud, Longitud, Precisión**. Más en profundidad, debemos tener en cuenta el contexto en la recepción, citado como objetivo para caracterizar la señal. Así pues, al menos se debe poder **dejar constancia del entorno y la meteorología**, así como de cualquier factor que indiciariamente pudiera influir en la recepción, tal como **el porcentaje de batería** del dispositivo en el momento de la obtención de señal. Otros aspectos detectados basados en las posibilidades que nos aporta la librería android.location para las versiones mencionadas, podrán ser: La relación **señal/ruido** de los **satélites que intervienen en el posicionamiento**, el **tiempo de posicionamiento** calculado por el receptor (tiempo que se ha tardado en determinar el primer posicionamiento, más en concreto será el tiempo que se tarda en obtener la información de al menos 4 satélites, necesarios para el cálculo del posicionamiento en sí).

Algo bastante evidente, es la necesidad de guardar la **fecha y hora del posicionamiento** para poder contrastar resultados y además a modo de identificador (pensando en el diseño de la permanencia) en una supuesta base de datos, podría funcionar bien para un único dispositivo.

Un aspecto detectado en las primeras pruebas realizadas con la primera versión desarrollada fue la necesidad de **contrastar la posición real** con la calculada. Para ello, se consultaban los datos en Google Maps de forma manual y se realizaba una aproximación con el lugar donde se tomó la medición para determinar el error en la precisión<sup>8</sup>.

Así pues, aunque la validación del posicionamiento no es una restricción directa de la aplicación, es un aspecto para tener en cuenta en el posterior análisis técnico y por tanto puede convertirse en un problema más tarde, donde sería más costoso subsanar la restricción no detectada.

Los datos obtenidos de la medición se guardaban haciendo una captura de pantalla de la aplicación con los datos y enviando dicha captura vía mensajería para luego escribir los datos de

---

<sup>8</sup> El error en la precisión (URE) será la distancia entre el posicionamiento GPS y la posición real menos la precisión calculada.



forma manual en una hoja de cálculo. Este método resulta ineficiente ya que se depende de aplicaciones intermedias para completar valoraciones y apreciaciones del lugar de la medición.

Por ello, es interesante poder **generar “logs” ordenados** por algún tipo de identificador. Ya que en el posterior análisis podrá ser interesante comparar el rendimiento en distintas condiciones sobre un mismo punto, el log podría ser un **identificador del lugar**, donde poder adjuntar un nombre y sería interesante adjuntar una fotografía para demostrar el entorno en dicho lugar.

Se ha detectado que en ocasiones hay apreciaciones concretas o mediciones anómalas que requieren poder aportar algún tipo de **valoración técnica** asociada a dicha medición.

Hay otros matices relativos a factores tecnológicos influyentes en el posicionamiento que son muy importantes en la generación de los datos, tales como el uso de A-GPS, SBAS, Multifrecuencia, antena del receptor... Por ello, se debe ser capaz de **controlar las optimizaciones** conocidas que afecten a la tecnología.

También es importante tener en cuenta factores que ayuden a **mejorar el entendimiento** de los datos generados, tal como poder usar los datos en gráficos, realizar mediciones a intervalos en una misma toma...

## 5.1. Tabla de requisitos

A la hora de afrontar el diseño, tomaremos las siguientes tablas como referencia para construir una solución eficaz, justificando la implementación con los requisitos que se muestran.

### 5.1.1. Requisitos funcionales

Requisito Funcional	Descripción
RF1	Visualizar datos de posición y precisión.
RF2	Definir entorno y meteorología.
RF3	Visualizar porcentaje de batería.
RF4	Visualizar SNR y satélites que intervienen.
RF5	Visualizar tiempo de posicionamiento.
RF6	Establecer fecha y hora.
RF7	Generar “logs” agrupados por identificador.
RF8	Escribir una valoración técnica.

### 5.1.2. Requisitos no funcionales

Requisito no funcional	Descripción
RNF1	Compatible con Marshmallow.
RNF2	Contrastable con la posición real.
RNF3	Controlar las optimizaciones conocidas.
RNF4	Procurar la claridad de los datos generados.

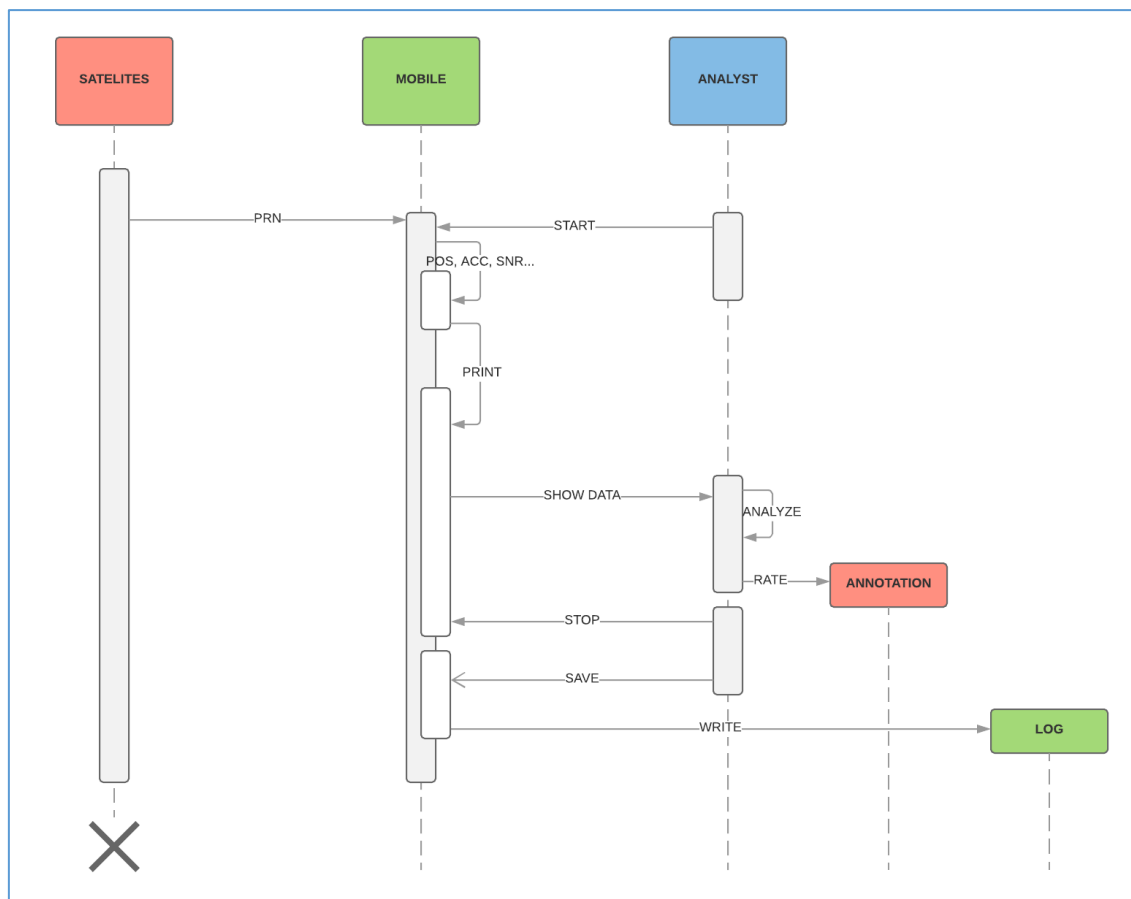
## 6. Diseño

Teniendo los objetivos y la metodología sobre el papel, ahora cabe seguir un diseño que se ajuste a lo mencionado y cubra los requisitos detectados durante el análisis.

Aquí se muestran los diferentes aspectos cubiertos en el diseño final del proyecto, pero durante la implementación se detallará el proceso continuo de transformación y construcción de este.

### 6.1. Diseño de la arquitectura

La herramienta que vamos a desarrollar interactúa con los datos satélite para visualizarlos y generar un resumen “aprovechable” de estos. Por tanto, como agentes que intervienen en el sistema encontramos los **satélites**, el **dispositivo receptor** que genera un log, y el **analista** que aprovecha los datos generados.

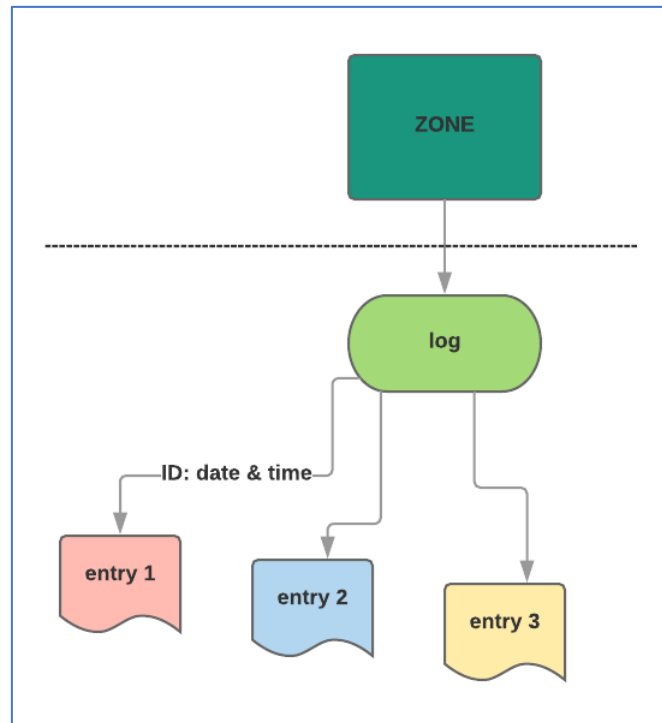


*Figura 7: Diagrama de secuencia de la aplicación base [58]*

El satélite transmite señales al medio que son captadas por el dispositivo receptor, el cual muestra los datos relevantes y genera un log que puede ser consultado.

## 6.2. Diseño de la persistencia

En cuanto a la persistencia de los datos, el propio **fichero de log** cumple dicha función, guardando los datos usados para el análisis y la caracterización.



*Figura 8: Esquema de persistencia mediante ficheros de log*

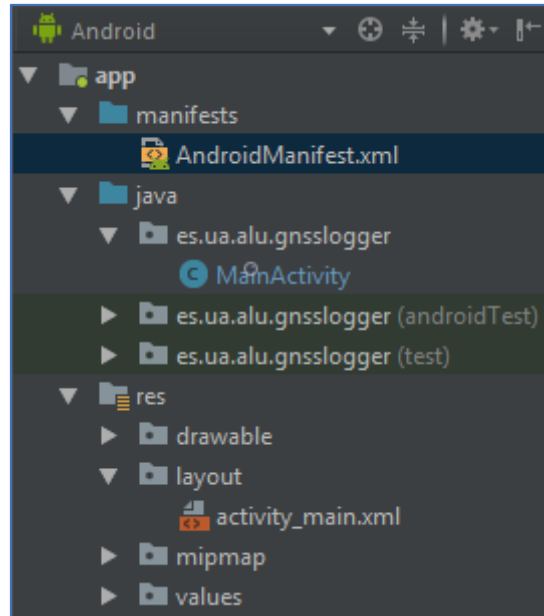
Consistirá en la creación de **ficheros de texto plano** o estructurado, con los datos de las mediciones, ordenados e identificados para su posterior uso. Así mismo, se podrá generar logs en base a un identificador para **agrupar varias mediciones de una misma zona** o categoría.

Los logs serán esos mencionados ficheros, identificados (a priori) por zona y año para agrupar las mediciones. Cada entrada hará referencia a una lectura en un instante de tiempo (fecha y hora) y podrá ser almacenada en el correspondiente log de la zona donde se realizó dicha lectura.

El contenido de las entradas será el de los datos aprovechables para el análisis tales como: fecha, hora, latitud, longitud, precisión, satélites, señal/ruido, tiempo de posicionamiento, batería del dispositivo en el momento de la medición, valoración escrita del analista que genera la entrada...

### 6.3. Diseño de la arquitectura tecnológica Front/Back-end

El entorno de desarrollo Android Studio construye un proyecto estructurado, tal y como otros entornos de desarrollo integrado (IDE) trabajados en el grado, como Eclipse o NetBeans.



*Figura 9: Esquema de la arquitectura de proyecto*

El proyecto en Android Studio se descompone así, en un Front-End basado en **diseños** ("layouts") y un Back-End basado en **actividades** ("activities"). Los diseños no son más que estructuras en formato **XML** representando la distribución de los elementos y sus atributos. Por otro lado, las actividades serán objetos en **Java** referenciando los eventos que suceden en la aplicación (como pulsar un botón o escribir en un cuadro de texto).

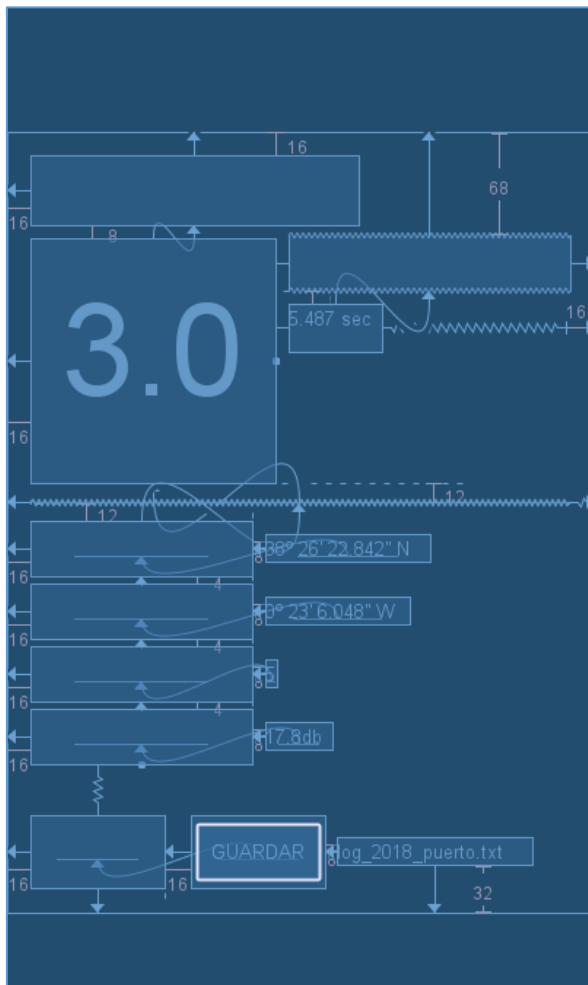
Por último, el proyecto tiene un fichero de configuración donde se representa la arquitectura y la construcción del proyecto (podría compararse con el POM en proyectos Maven).

Adicionalmente, el proyecto contendrá ficheros con datos aprovechados por la aplicación como cadenas de texto, estilos y demás variables. Es una buena práctica referenciar a estos ficheros en lugar de nombrar directamente los textos y estilos de la aplicación para mejorar enormemente la mantenibilidad y escalabilidad del proyecto (por ejemplo, para agregar varios idiomas en un futuro).

## 6.4. Diseño de interfaces

En cuanto a las interfaces, deberemos ser capaces de generar, mostrar y guardar los datos relativos a la señal. Por ello, contaremos con una interfaz principal encargada del **control** (generar, mostrar, guardar) y otras interfaces secundarias encargadas de la **configuración** y **consulta** (cómo mostrar, cómo guardar, qué hay guardado).

### 6.4.1. Interfaz principal



*Figura 10: Diseño de la interfaz de principal*

## 6.5. Diseño de pruebas y validación

Sabiendo que usaremos las funciones de la librería `android.location`, la validación se centrará en los aspectos de conversión de valores (como pasar de grados a minutos y segundos en las coordenadas cartesianas de latitud y longitud, o de milisegundos a segundos en el tiempo de posicionamiento), escritura correcta en los ficheros de texto, actualización de valores en pantalla cuando se produce un cambio... En este sentido, confiaremos en que las librerías y cálculos que usamos del dispositivo son correctos y nos centraremos solamente en los métodos desarrollados y en la prueba a nivel de sistema.

### 6.5.1. Validación de la tecnología GNSS en el entorno

A pesar de que confiamos en que los cálculos realizados por el dispositivo en pruebas sea correcto y las librerías externas funcionen debidamente en todos los casos, estamos realizando un análisis en el medio físico bajo gran variedad de condiciones y a veces las mediciones podrán producirse bajo condiciones poco favorables, produciendo no solo que la precisión sea peor (algo que es de esperar) sino que además pueden darse casos en los que la posición se vea alterada por dichas condiciones dando lugar a valores difíciles de entender sin el contexto adecuado. (Véase: “Factores en el medio que afectan a la calidad GPS”).

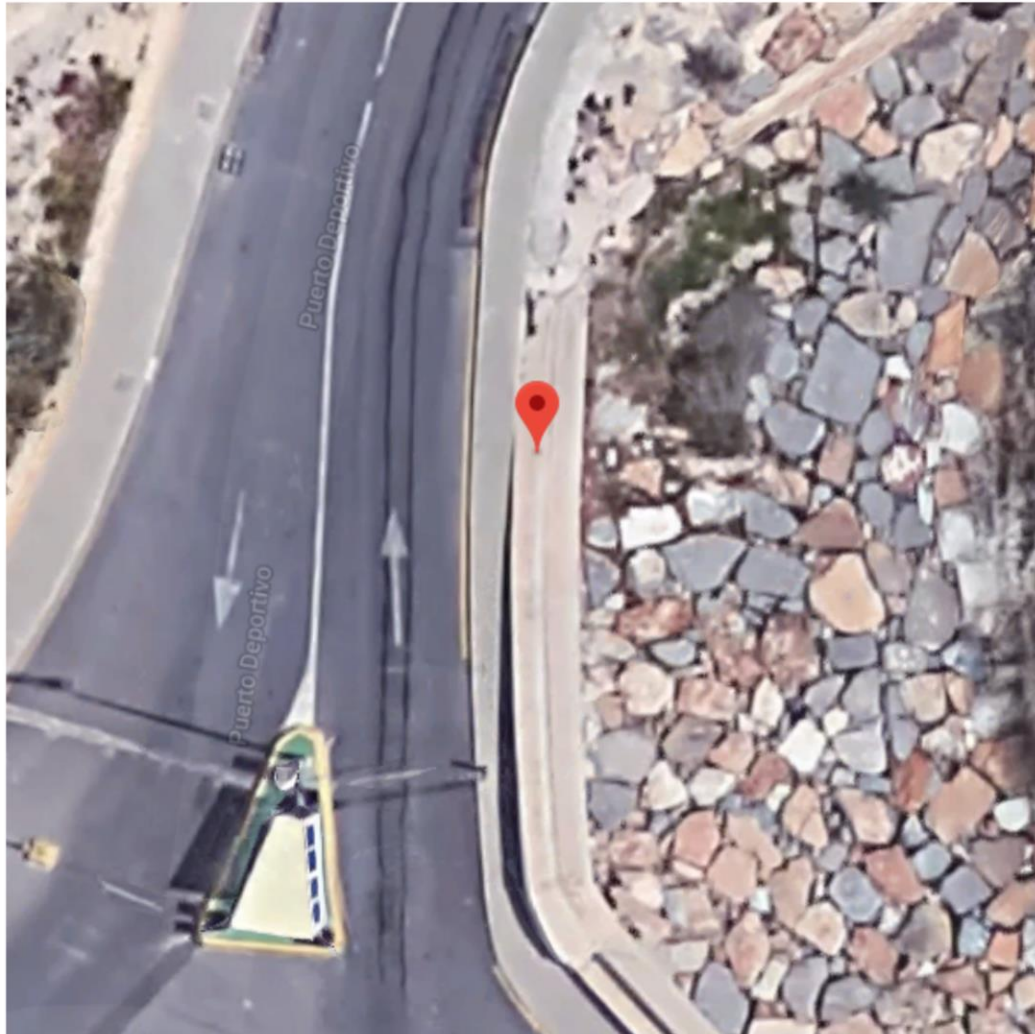
Por ello, para todos los casos en las mediciones, se tratará de afianzar con la mayor exactitud posible la posición real donde se mide, así como el contexto del que se hablaba en la especificación.

De aquí se extraerá la conclusión última del proyecto: qué alcance tiene la tecnología en distintas condiciones.

### 6.5.2. Validación de las zonas en el estudio de campo

Definiremos zonas concretas para las cuales realizar mediciones, y el esquema de definición será el suficiente para entender el contexto espacial (el entorno) y para conocer **las coordenadas exactas donde se debe realizar la medición**:

Zona: PUERTO, PEAJE



•Entorno: URBANIZADO, DESCUBIERTO

•Coordenadas: 38° 25' 54.672"N 0° 23' 0.636" W

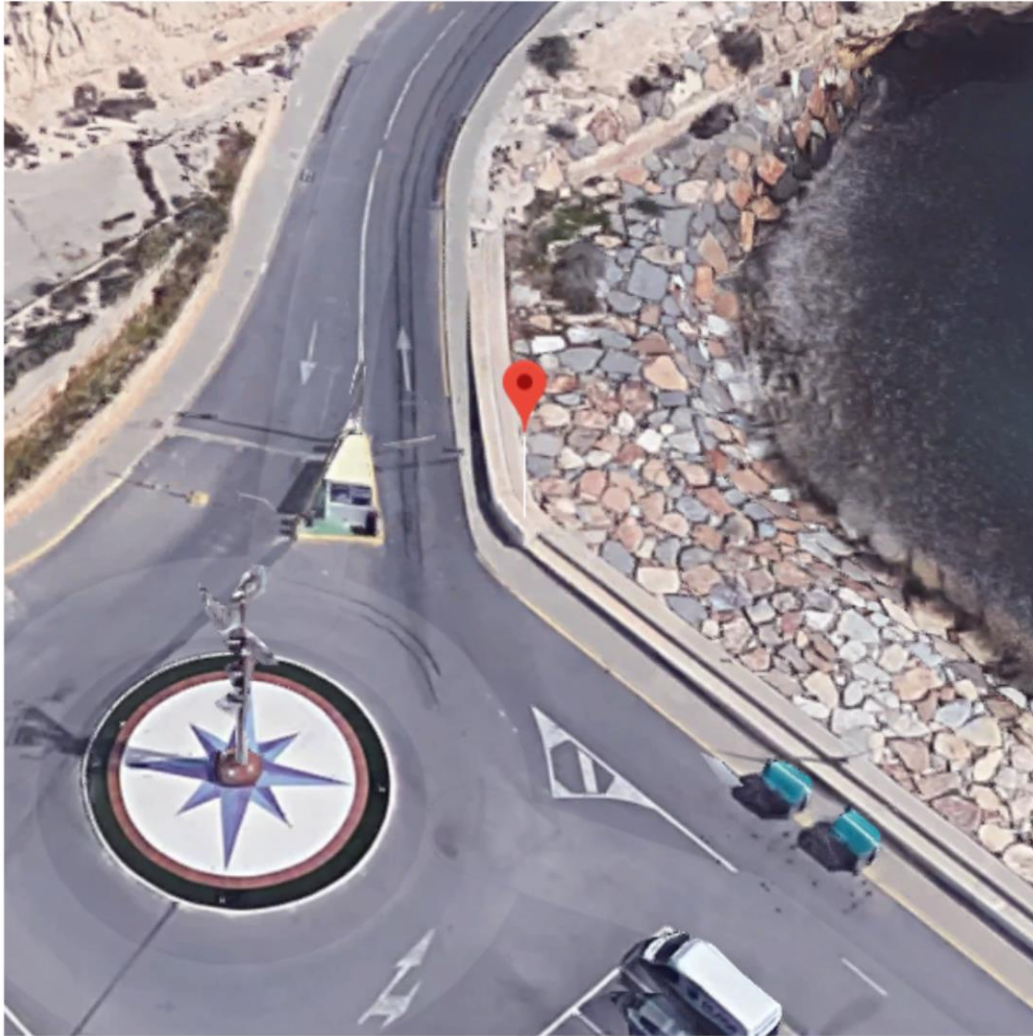
*Figura 11: Ejemplo de definición de zona para el entorno de pruebas*

De este modo, para cada zona definida podremos generar entradas en su log correspondiente con los datos relativos a las mediciones (una entrada por medición, identificada por fecha, hora y lugar) y estimaremos en qué medida son precisos y veraces los datos aportados con respecto a la posición real de la zona.

Se recogen pues, las zonas o lugares elegidos para el estudio, buscando un conjunto de entornos y condiciones diferentes entre sí y una proximidad con el lugar donde se da el estudio.

#### 6.5.2.1. Zona: Puerto deportivo, El Campello

Lugar: PUERTO DE CAMPELLO, PEAJE



•Entorno: URBANIZADO, DESCUBIERTO

•Coordenadas: 38° 25' 54.3"N 0° 23' 0.6"W

- Es una zona abierta, urbanizada y poco flanqueada puesto que se trata de un puerto, al lado del mar.
- Suele ser un lugar poco concurrido, distando mucho del ajetreo de las ciudades o de puertos comerciales.



### 6.5.2.2. Zona: Interior, Habitación con ventana

Lugar: HABITACIÓN CON VENTANA, INTERIOR



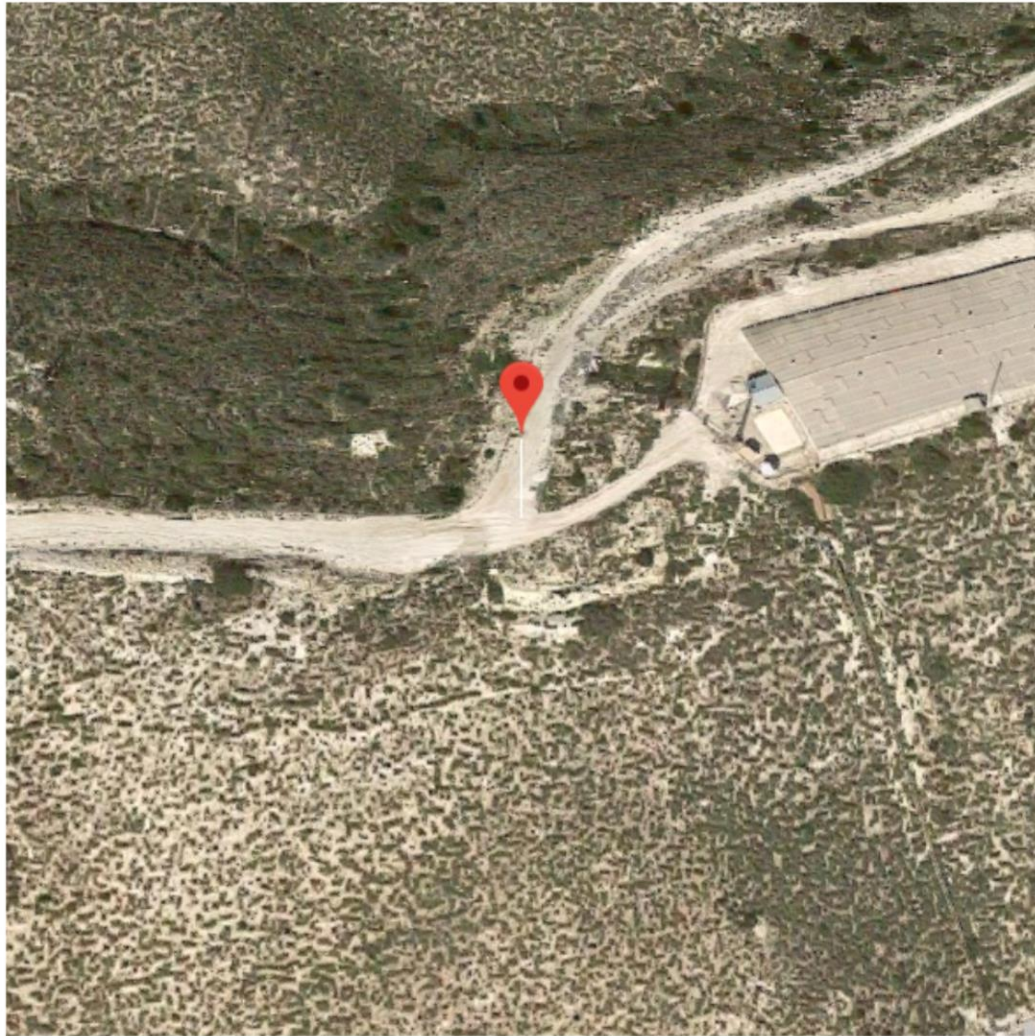
•Entorno: INTERIOR, ELEVADO, VENTANA

•Coordenadas: 38°26'22.3"N 0°23'04.9"W

- Es una vivienda común.
- La idea es contrastar mediciones en interior de vivienda.

### 6.5.2.3. Zona: Partida Xixi, El Campello

Lugar: **PARTIDA XIXI, EL CAMPELLO**



•**Entorno:** DESCUBIERTO, ELEVADO, ANTENAS

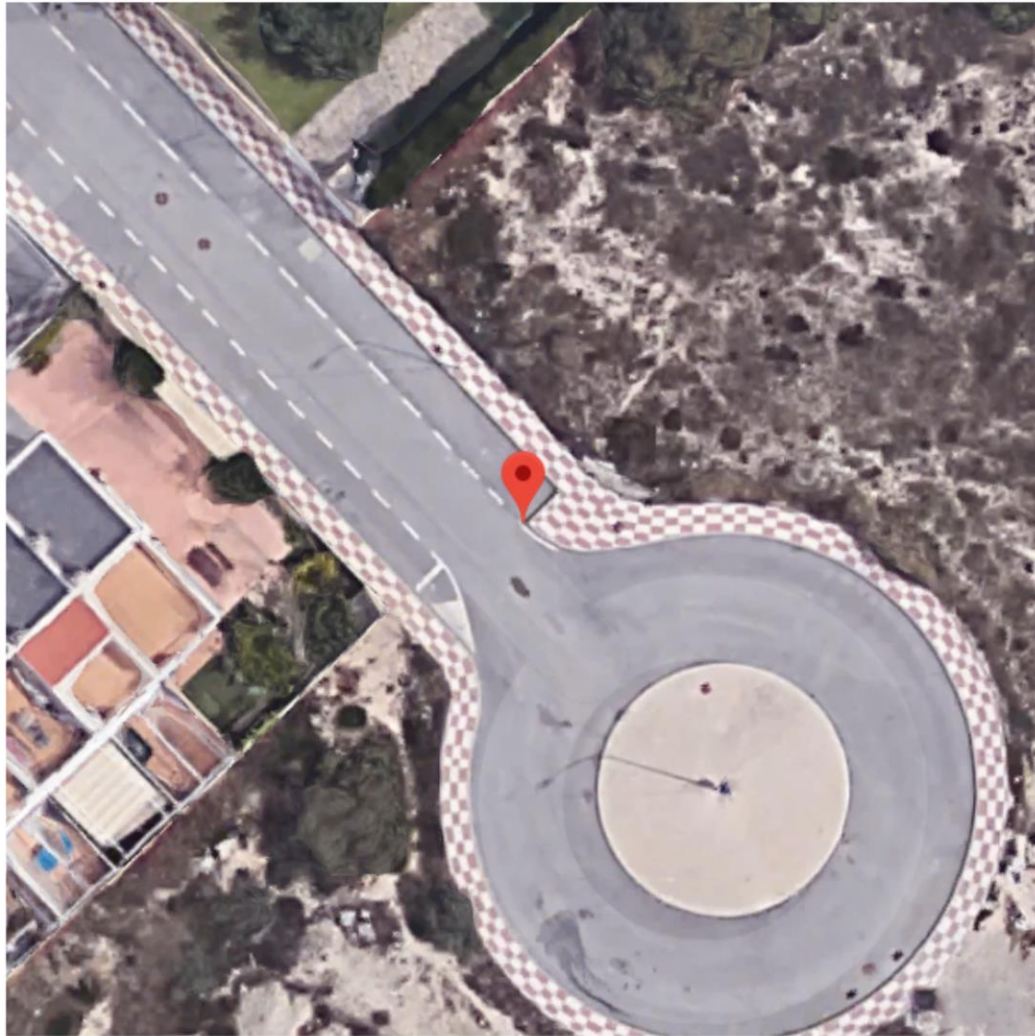
•**Coordenadas:** 38° 27' 35.6"N 0° 21' 42.9"W

- Es una zona de caminos en un monte elevado.
- Se caracteriza por no tener nada alrededor salvo una estación de antenas de telefonía.
- Se desconocen factores que pudieran alterar el posicionamiento debido a las antenas telefónicas.



#### 6.5.2.4. Zona: Calle frente a descampado

Lugar: EL CAMPELLO, CALLE FRENTE A DESCAMPADO



·Entorno: URBANIZADO, DESCUBIERTO

·Coordenadas: 38° 26' 20.7"N 0° 23' 5"W

- Se trata de una calle residencial de la zona donde vivo.
- Está rodeada de alambrada. Es una zona poco flanqueada.
- Se ha elegido este punto por su facilidad para la localización satélite y su carácter despejado.

#### 6.5.2.5. Zona: Área metropolitana, Alicante

Lugar: ZONA CENTRO, ALICANTE



•Entorno: EDIFICADO, URBANIZADO, TRANSITADO

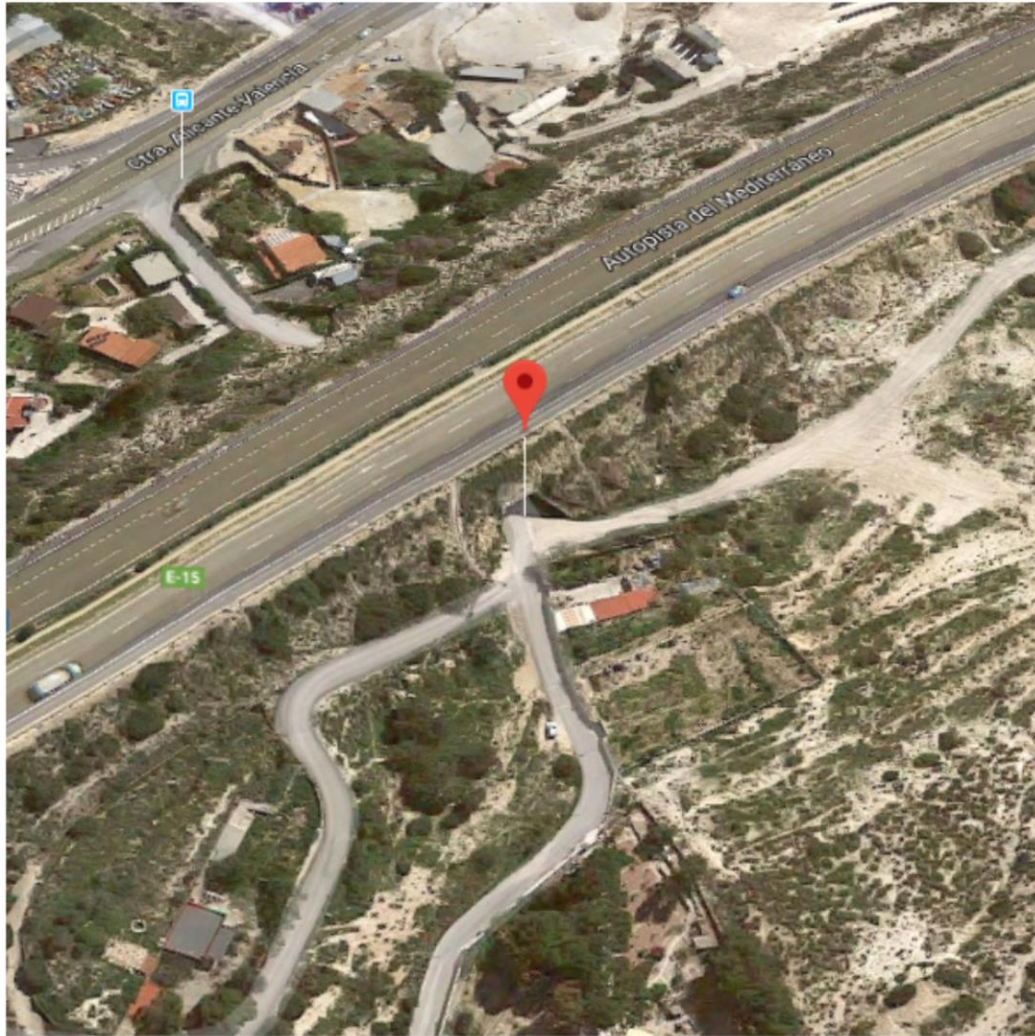
•Coordenadas: 38° 20' 33.8"N 0° 29' 34.5"W

- En la zona centro de Alicante, donde se encuentra la mayoría de los comercios.
- Flanqueado por edificios altos, asfalto, hormigón, cristal y metal.
- No es una calle especialmente ajetreada.



#### 6.5.2.6. Zona: Túnel de paso, bajo autopista

Lugar: TÚNEL DE HORMIGÓN, BAJO AUTOPISTA AP7



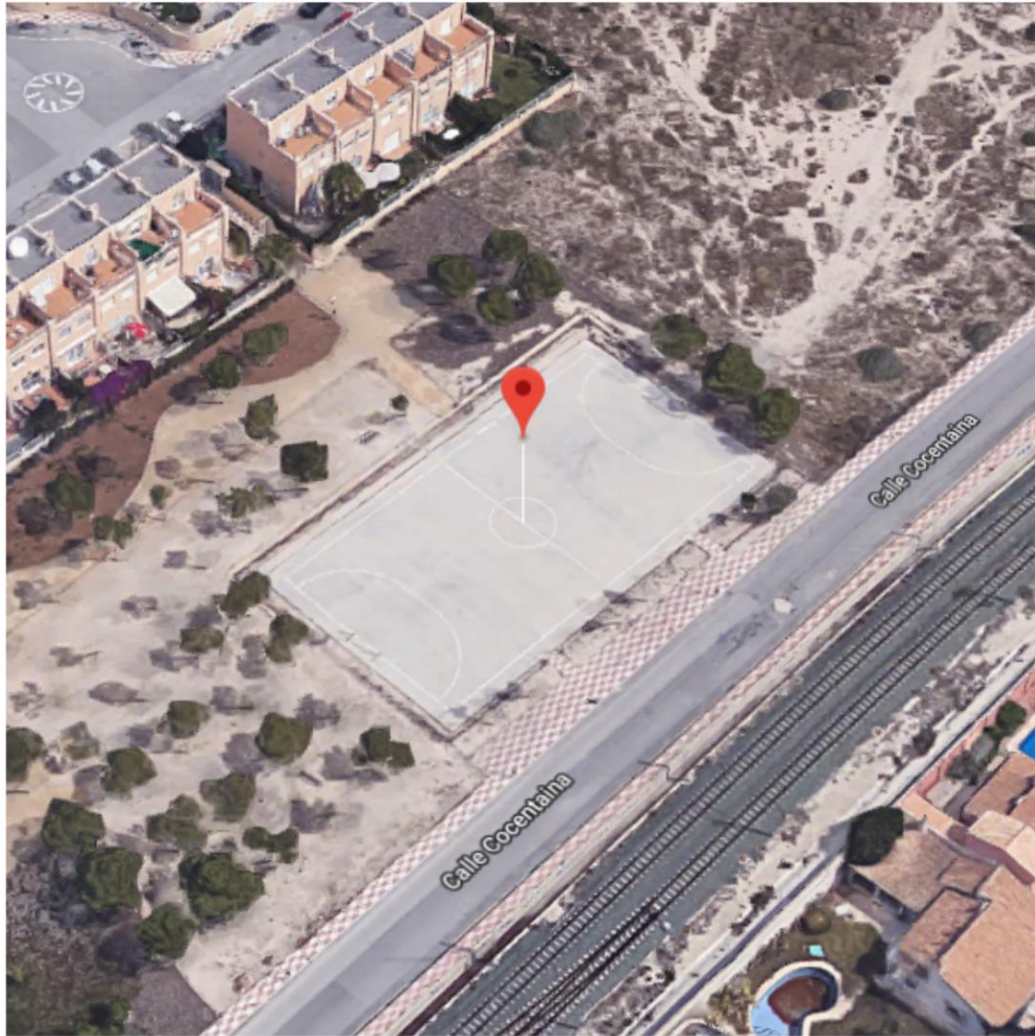
·Entorno: CUBIERTO, TÚNEL, HORMIGÓN

·Coordenadas: 38°27'16.5"N 0°22'14.2"W

- Consiste en un túnel de paso de hormigón de 62 metros de largo.
- Cruza por debajo de una autopista, a través de una montaña de tierra.
- Se ha elegido por su facilidad para realizar una medición de la cobertura en un túnel.

### 6.5.2.7. Zona: Campo de fútbol, Parque

Lugar: CAMPO FÚTBOL MUNICIPAL, EL CAMPELLO



•Entorno: URBANIZADO, DESCUBIERTO

•Coordenadas: 38° 26' 15.7"N 0° 23' 6.4"W

- Consiste en un pequeño campo de fútbol de pavimento.
- Se encuentra rodeado por un vallado metálico poco perceptible en la imagen satélite.
- Se ha elegido el lugar por su facilidad para contrastar el punto real (zona de saque del campo).
- Se considera la posibilidad de pérdida de calidad de recepción por las condiciones urbanizadas del entorno.



#### 6.5.2.8. Zona: Pineda, Universitat d'Alacant

Lugar: PARQUE DE LOS PATOS, UNIVERSITAT D'ALACANT



·Entorno: ARBOLADO

·Coordenadas: 38° 23' 6.4"N 0° 31' 5.7"W

- Es el parque del lago de los patos de la universidad.
- Se encuentra al oeste de la facultad de derecho y tiene una formación arbolada densa, aunque no muy abundante.
- La zona se ha elegido para contrastar el efecto de la vegetación y los árboles en la navegación satélite.

## 7. Implementación

La primera fase abordada en el desarrollo pasa por la construcción de la interfaz principal:



*Figura 12: Interfaz principal de la aplicación*

Dicha interfaz, una vez desarrollado el back-end, será capaz por sí sola de aportar toda la información no-contextual de la lectura, es decir: se puede usar en sí misma para realizar mediciones, anotando de forma paralela el contexto. Con ello, garantizamos que podremos realizar mediciones iniciales, aunque rudimentarias e inconsistentes desde el punto de vista de la permanencia.

Con dicha interfaz y sus correspondientes funciones ya podemos empezar a tomar medidas y probar la tecnología GPS en sí.

### 7.1. Aspectos abordados en la primera fase

Al tratar con las librerías mencionadas para el cálculo de los datos satelitales, es muy importante tener en cuenta las tecnologías influyentes sobre GPS mencionadas durante el estado del arte.

(Véase: ‘Factores en el medio que afectan a la calidad GPS’).

Durante la creación de la instancia de **LocationManager** (recordemos, era la clase encargada de gestionar los eventos de posición/precisión) debemos definir que las peticiones relevantes son las obtenidas **estrictamente por GPS**, y así debe definirse desde código.



No obstante, se descubre un aspecto crucial durante la fase; los modos posibles de obtención del posicionamiento a través de “Location” se apoyan en GPS y en Network (red), pero la caché del dispositivo es la misma para cualquier aplicación que aproveche los datos GNSS, por lo que, **aunque definamos “GPS ONLY”, se siguen usando datos de caché para el posicionamiento.**

Este aspecto resulta ser muy incómodo, teniendo en cuenta que no existe una opción como tal en el dispositivo de pruebas inicial para borrar la caché de navegación, y se traducirá en **la necesidad de extraer la tarjeta SIM del dispositivo.**

Y la historia no termina ahí: Resulta que por la propia arquitectura del sistema Android, la caché de navegación permanecerá almacenada mientras el dispositivo tenga activada la función de navegación, aunque este se reinicie. Así que, la primera solución contemplada es desactivar el GPS del dispositivo y reiniciarlo.

Además, para estar seguros de que otras aplicaciones no interfieren en el aprovechamiento de red para la navegación “ensuciando” así la caché del dispositivo, se decide realizar la extracción de la tarjeta SIM con el dispositivo apagado y previamente habiendo desactivado la función de navegación de este, antes de empezar a medir.

Así pues, durante la primera fase se realizó una serie de mediciones para probar la aplicación y adquirir conceptos sobre el terreno.

(Ver: ‘Apéndice II: Mediciones experimentales durante la fase inicial de pruebas.’).

Durante esta fase, se efectuaron numerosas iteraciones entre el diseño, la implementación y las pruebas, así como en el propio estado del arte: Se adquirieron muchas nociones no contempladas por falta de conocimientos y experiencia en el campo de la tecnología GNSS que han ayudado en gran medida a una mejora de la solución final.

## 7.2. Apunte sobre las fases en el proyecto

Una vez probadas y validadas las funcionalidades en la primera fase, podemos tomarla como primera **versión funcional** del proyecto, permitiéndonos cubrir los principales requisitos de la solución propuesta. A partir de ahora, el VCS (Version Control System) cobra más sentido.

Se ha creado una rama de desarrollo en el proyecto (“development branch”) para seguir trabajando sin que los cambios introducidos puedan afectar al progreso del desarrollo.

A partir de ahora, cuando se alcance una serie de hitos dentro del proyecto diremos que nos encontramos en una nueva fase (con un criterio poco consensuado, las fases consistirán en metas funcionales, que nos abren acceso a distintas usabilidades del programa, o a modo de reiteración en los puntos de Diseño/Desarrollo/Prueba).

## 8. Pruebas y validación

Durante la etapa de pruebas, se ejecutarán las pautas definidas en el diseño para alcanzar la **validación de la tecnología GNSS** a través de la herramienta desarrollada.

Téngase en cuenta, que durante el proceso de validación del error (**URE**) se usará la herramienta Google Maps y se contrastará con las zonas que se definen a continuación.

La herramienta Google Maps permite explorar con precisiones de décimas de segundo, y teniendo en cuenta que una décima de segundo equivale a una distancia de 3m, nuestras zonas parten con un error inicial de hasta 1.5 metros, pues la precisión de la herramienta usada para contrastar el URE nos limita.

### 8.1. Variables de entorno en el estudio de la tecnología GNSS

Definiremos pues, un **conjunto lo más heterogéneo posible** de casos de prueba atendiendo a las variaciones detectadas de entorno y tecnología, expuestas durante el estado del arte.

El conjunto desarrollado se estructurará para distintos receptores, haciendo uso de distintas tecnologías, pero siempre en base a características similares de entorno:

<b>Lugares</b>	Puerto	Monte	Universidad	Trabajo	Casa	Ciudad
<b>Horas</b>	Madrugada	Mañana	Mediodía	Tarde	Noche	Medianoche
<b>Entorno</b>	Descubierto	Arbolado	Urbanizado	Edificado	Interior	Elevado
<b>Meteorología</b>	Raso	Nubes	Lluvia	Viento	Tormenta	Nieve

*Tabla 1: Ejemplo de variables del conjunto de pruebas*

Sería complicado probar todas las combinaciones del conjunto, teniendo en cuenta que en la región del estudio y dependiendo de la época, las nieves e incluso las precipitaciones son casi inexistentes.

Además, es interesante agregar al conjunto de pruebas las mejoras existentes de la tecnología (véase: 'Mejoras tecnológicas que afectan a la calidad GNSS') del mismo modo que se pretende probar los factores adversos con distintos entornos.

## 8.2. Dispositivos empleados en la recepción GNSS

Se definen los dispositivos receptores (smartphones Android de gama media) empleados en el estudio. Las características relevantes de los distintos dispositivos pasan por conocer el modelo, origen, procesador (chipset receptor), versión de Android, tecnologías de mejora, entre otros factores que permitan identificar las características que afectan en la recepción.

(Véase: ‘Mejoras tecnológicas que afectan a la calidad GNSS’).

### 8.2.1. Bluboo Maya Max 6.0”

Se trata de mi dispositivo personal actual.

- Versión Android: 6.0 (Marshmallow) (API level 23).
- Procesador: **MT6750**
  - Soporte para GPS, Glonass, Galileo, Beidou.
- Adquisición: Web oficial del dispositivo, año 2016.
- Pese a que el procesador está adaptado para recibir señales Galileo, el dispositivo no está habilitado a nivel de firmware/software para ello.

“Regarding **Bluboo Maya Max**, and considering the information we have today, it is not Galileo enabled. However, the chipset installed in this smartphone (Mediatek MT6750), it is used in other devices (e.g. LG Q stylus) that are Galileo enabled.”

Sept. 2018 - (European GNSS Service Centre)

### 8.2.2. Asus Zenfone 6

- Versión de Android: 5.0 (Lollipop) (API level 21).
- Procesador: **Intel Atom Z2580**
  - GPS
- Adquisición desconocida.

### 8.2.3. Samsung Galaxy J5 (2016)

- Versión de Android: 6.0 (Marshmallow).
- Procesador: **Snapdragon 410**
  - GPS, GLONASS, Beidou
- Adquisición: Tienda online de tecnología.

### 8.2.4. Samsung Galaxy J5 (2017)

- Versión de Android: 7.0 (Nougat).
- Procesador: **Exynos 7870**
  - GPS, GLONASS
- Adquisición: Tienda online de tecnología.

## 9. Resultados obtenidos en el estudio de campo

En el presente apartado, se muestran los resultados de las pruebas realizadas durante el estudio de campo.

### 9.1. Datos de navegación en distintos dispositivos

El estudio ha consistido en la realización de medidas en un mismo punto, bajo las mismas condiciones de entorno y meteorología, con distintos dispositivos.

- Dispositivos durante la prueba:
  - Bluboo Maya Max 6.0''.
  - Asus Zenfone 6.
  - Samsung Galaxy J5 (2017).
  - Samsung Galaxy J5 (2016).
- Zona: Calle frente a descampado.
- Entorno: Urbanizado, Descubierto.
- Meteorología: Soleado.
- Objetivo: Realizar una comparativa de prestaciones GNSS en dispositivos Android, para unas mismas condiciones, sin tecnologías asistidas ni caché de navegación.

Dispositivo	Precisión (m)	URE (m)	TTF (ms)	Satélites (nº)	SNR (dB)
Bluboo Maya Max	2,6	4,64	16.258,00	18	31,7
Asus Zenfone 6	6,0	-0,3	47.320,00	7	31
Samsung Galaxy J5 (2017)	4,0	-2,16	17.209,00	17	36,7
Samsung Galaxy J5 (2016)	3,0	-0,5	0,00	13	30,4

#### 9.1.1. Apunte sobre los URE negativos

En términos matemáticos, un error negativo puede no entenderse correctamente, pues cuando hablamos de error normalmente imaginamos la distancia absoluta entre dos puntos (real y esperado) en un plano 2D o 3D.

No obstante, entiéndase que al hablar de precisiones (radiales), el error es una variación en el radio de la circunferencia (o esfera). Por tanto, **el valor real puede aparecer dentro ó fuera del radio esperado.**

Por tanto, cuando hablamos de un URE negativo de -2,16, lo que entenderemos será que, si la precisión calculada por el dispositivo era de 4,0 metros, la distancia real al punto de medición ha resultado ser de 1,84 metros ( $4,0 - 2,16$ ).

Por el contrario, un URE positivo nos marcará una precisión **real** menor que la **calculada**.

## 9.2. Mediciones durante el uso de A-GPS

El presente apartado se basa en el estudio de campo realizado acerca de la calidad de recepción detectada al usar el sistema de mejora A-GPS y, por ende, la caché asistida del dispositivo empleado en las pruebas.

- Dispositivo durante la prueba: Bluboo Maya Max 6.0''.
- Zona: Campo de fútbol, Parque.
- Entorno: Urbanizado, Descubierto.
- Meteorología: Nublado.
- Batería: 93%.
- Objetivo: Comparar la mejora que supone el uso de la tecnología A-GPS presente en los dispositivos Android, frente a su ausencia en un mismo dispositivo y contexto.

	Precisión (m)	URE (m)	TTF (ms)	Satélites (nº)	SNR (dB)
A-GPS	1,5	6,3	5515	18	31,0
No SIM	3,8	20,69	9962	9	16,5

Cuando se habla del caso "No SIM" se refiere a la medición con la tarjeta SIM extraída, la memoria caché vacía y libre de asistencias en el posicionamiento; es GNSS puro.

Por el contrario, A-GPS se referirá a la medición empleando dicha tecnología.

## 9.3. Características de la señal en zona de baja cobertura

Se trata de analizar el impacto de la pérdida de cobertura GNSS en un túnel de hormigón de 62 metros que atraviesa la autovía por debajo.

- Dispositivo durante la prueba: Bluboo Maya Max 6.0''.
- Zona: Túnel de paso, bajo autopista.
- Entorno: Túnel, Cubierto, Hormigón.
- Objetivo: Determinar los cambios de cobertura GNSS progresivos al atravesar un túnel de hormigón de 62 metros bajo una autopista.

	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m
Error (m)	36,24	89,23	85,55	-	-	56,69	9,22
Satélites (nº)	8	3	0	-	-	3	7
SNR (dB)	28,2	27,1	0	-	-	16,7	27,8

Los datos analizados se centraron pues, en la calidad y cobertura de la señal recibida.

Es muy importante entender que, en este caso, el error en metros hace referencia a la distancia desde el punto calculado hasta el punto real verificado con la herramienta de Google Maps.

$$error = precisión + URE$$

Esta fórmula del error es solo válida para el caso concreto, ya que es más fácil de entender así, simplificando la precisión y el URE en una sola variable.

En otros casos, entenderíamos el error como URE sin más.

## 9.4. Características de la señal en zona arbolada

Se pretende abordar la caracterización de la señal en una zona arbolada, comprobando en qué medida afecta a los valores de navegación satélite.

- Dispositivo durante la prueba: Bluboo Maya Max 6.0''.
- Zona: Pineda, Universitat d'Alacant.
- Entorno: Arbolado, Pinos densos.
- Meteorología: Soleado
- Batería: 93%
- Objetivo: Determinar el impacto del entorno arbolado en el posicionamiento GNSS en términos de tiempo de posicionamiento (TTF) y otros valores.

	Precisión (m)	URE (m)	TTF (ms)	Satélites (nº)	SNR (dB)
Descubierto	2,6	4,61	14.236	15	28,8
Arbolado	1,4	3,6	63.891	14	24,4

El estudio se sucede con diferencias en el impacto de los datos de efemérides y el cálculo realizado por el dispositivo: En el caso "Descubierto" el dispositivo no tuvo tiempo de calcular por completo la posición, mientras que en el caso "Arbolado", el dispositivo calcula la posición durante más tiempo, refactorizando los datos de efemérides recibidos y mejorando así la precisión dada.

## 9.5. Características de la señal en interiores de vivienda

La idea es obtener datos de calidad de posicionamiento en el interior de vivienda.

- Dispositivo durante la prueba: Bluboo Maya Max 6.0''.
- Zona: Interior, Habitación con ventana.
- Entorno: Interior, Ventana.
- Meteorología: Viento.
- Objetivo: Contrastar la calidad de señal en condiciones cotidianas de interior, concretamente en una habitación, frente a la ventana.

Precisión (m)	URE (m)	TTF (ms)	Satélites (nº)	SNR (dB)
4,2	4,48	62.017	4	32,4

La medición se realiza sentado, frente a una ventana de media pared y a 1.5 metros de esta.

## 9.6. Navegación GNSS durante distintas condiciones de batería

Se pretende buscar diferencias en la calidad de navegación debido a la batería.

- Dispositivo durante la prueba: Bluboo Maya Max 6.0''.
- Zona: Calle frente a descampado.
- Entorno: Descubierta, Urbanizado.
- Meteorología: Despejado, Noche.
- Objetivo: Buscar diferencias de calidad en condiciones de batería baja.

	Precisión (m)	URE (m)	TTF (ms)	Satélites (nº)	SNR (dB)
5-10%	2,1	10,6	13.020	11	28,8
60-70%	2,6	4,64	16.258	18	31,7

El estudio se realiza para un mismo dispositivo en distintas condiciones de batería, pero en condiciones similares de entorno, meteorología y hora. Por otro lado, el asistente de ahorro de energía no ha estado presente durante la prueba en el caso de baja batería.

## 9.7. Capacidad de recepción en zonas metropolitanas

Se realiza una medición en el centro de Alicante con objeto de extraer una conclusión de la calidad de señal en este entorno.

- Dispositivo durante la prueba: Bluboo Maya Max 6.0''.
- Zona: Área metropolitana, Alicante.
- Entorno: Edificado, Flaqueado.
- Meteorología: Soleado.
- Objetivo: Contrastar la calidad de señal en área metropolitana y edificada, flanqueado por edificios altos.

Precisión (m)	URE (m)	TTF (ms)	Satélites (nº)	SNR (dB)
2,4	23,06	10.010	15	25,7

Se realiza por la mañana en un día festivo. El ajetreo característico de una zona metropolitana no es excesivo para la zona del estudio.

## 10. Conclusiones y reflexiones

### 10.1. Respecto al alcance de las tecnologías actuales

Hemos comprobado mediante la investigación de la tecnología que existen sistemas de posicionamiento capaces de alcanzar precisiones de apenas un par de centímetros mediante el uso de sistemas de aumento dedicados, para maquinaria agrícola de recolección autónoma.

El sistema **StarFire** de la compañía John Deere® es un ejemplo de explotación de la tecnología GNSS más puntera en el ámbito comercial. Consiste en el aprovechamiento de la señal satélite de distintas constelaciones GNSS mediante el uso de receptores especializados de la compañía que se incorporan en su maquinaria agrícola autónoma de precisión (receptores StarFire) [21].

El sistema, se ve asistido por un SBAS dedicado de la compañía, consistente en una constelación satelital que retransmitirá la señal regenerada y **corregida** por estaciones satélite terrestres del propio sistema en cuestión.

Las prestaciones de los distintos modelos que comercializa la empresa de maquinaria agrícola se refieren, en cuanto a las tecnologías de recepción, como **SF1** (StarFire 1) para receptores de un solo satélite SBAS en uso (con precisiones de hasta 15cm), y **SF3** (StarFire3) para su modelo de receptor más actual con precisiones de hasta 3cm.

Adicionalmente y mediante el uso de RTK (Véase “2.4.5 Optimización mediante código y procesado”), los receptores SF3 son capaces de obtener precisiones de hasta 2.5cm.

Como conclusión del ejemplo en el uso de la tecnología con fines comerciales y en términos de precisión, es posible alcanzar precisiones capaces de garantizar una autonomía en vehículos (vehículos autónomos) equiparable a la del ser humano. No obstante, factores como el tiempo de respuesta y la consistencia de los sistemas (frecuencia para recalcular el posicionamiento y cálculo ininterrumpido de éste) son aspectos que deberían ser investigados en el desarrollo de vehículos autónomos de carretera.

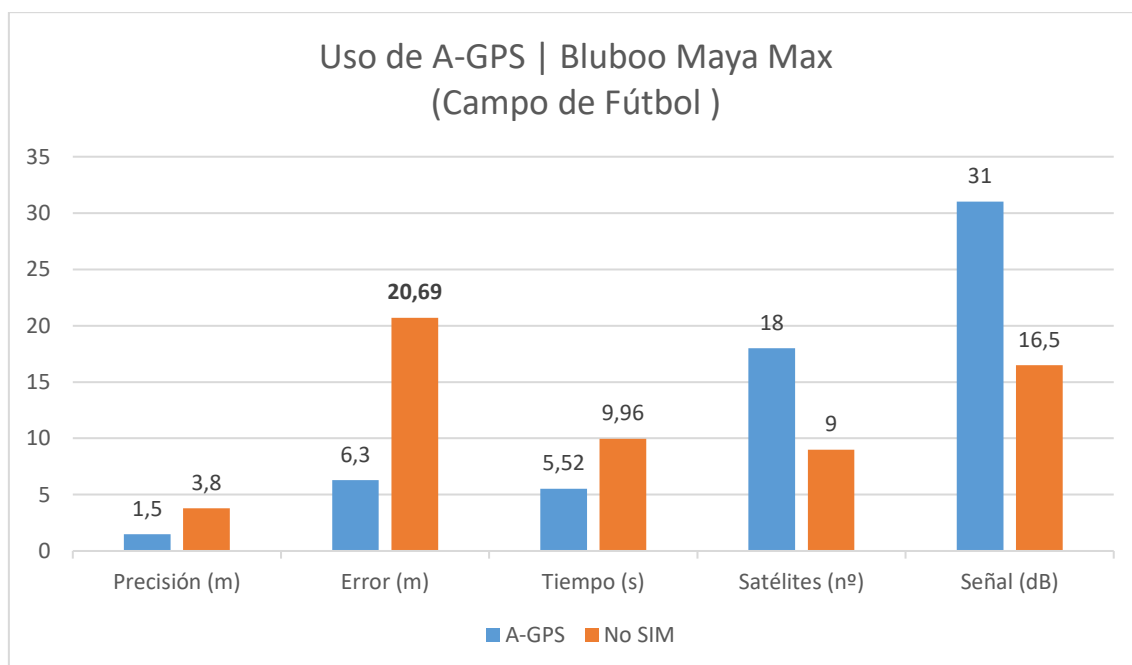
Es posible regenerar y corregir la señal satélite en zonas de baja cobertura mediante repetidores y el uso de estaciones RTK para garantizar precisiones y consistencia para la navegación autónoma de vehículos, por ejemplo, al pasar por un túnel o dentro de un garaje. Las precisiones alcanzadas con el uso de dichas tecnologías y las bandas de frecuencia más actuales y eficientes L5/E5a, y de sensores adicionales de movimiento y proximidad de los vehículos parecen hacer plausible la idea de vehículos autónomos en la actualidad, desde el punto de vista de la precisión.

El aumento de las prestaciones para dichas frecuencias se basa en la optimización de la señal transmitida/recibida, básicamente, transmitiendo/recibiendo más información aprovechable en el cálculo del posicionamiento en menos tiempo y consiguiendo así **precisiones submétricas** (de menos de un metro) en smartphones de gama media.



## 10.2. Prestaciones detectadas en el uso de la mejora de red, A-GPS

En el presente apartado se trata de extraer una conclusión basada en el estudio de campo realizado acerca de la calidad de recepción detectada al usar el sistema de mejora A-GPS y, por ende, la caché asistida del dispositivo empleado en las pruebas. Véase “9.2 Mediciones durante el uso de A-GPS”.



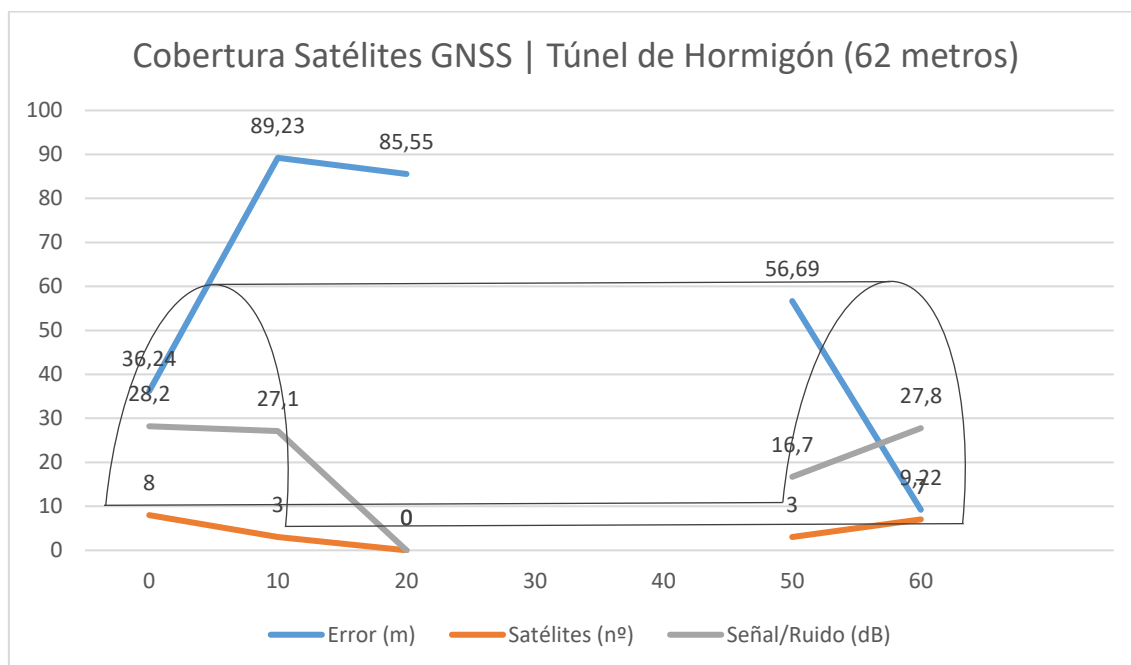
Mediante los datos extraídos, se deduce que el uso de la tecnología A-GPS en el dispositivo Bluboo Maya Max supone una mejora general de la calidad en términos de precisión, error, tiempo para el primer posicionamiento, número de satélites en el posicionamiento y relación señal/ruido media de los satélites en el posicionamiento.

El valor más significativo en este caso es el error de precisión detectado (**URE**) contrastando los datos de posición en Google Maps. El error en el posicionamiento aumenta un 228% (se triplica), suponiendo una distancia de 24,49 metros con respecto a la posición real.

El error detectado puede ser debido a la calidad del dispositivo (baja calidad) y al entorno urbanizado (vallado metálico, reflexión de señal, obstáculos...).

### 10.3. Análisis de la calidad de señal en zona de baja cobertura

En el siguiente gráfico se ejemplifican los datos del estudio realizado para la caracterización de señal en zona de baja cobertura. Véase “9.3 Características de la señal en zona de baja cobertura”.



La zona del estudio está ciertamente flanqueada por colinas en el lado izquierdo (correspondiente a los 0 metros) mientras que la zona derecha está más despejada, lo cual puede explicar las diferencias en el error y demostrar el efecto de reflexión y multipath.

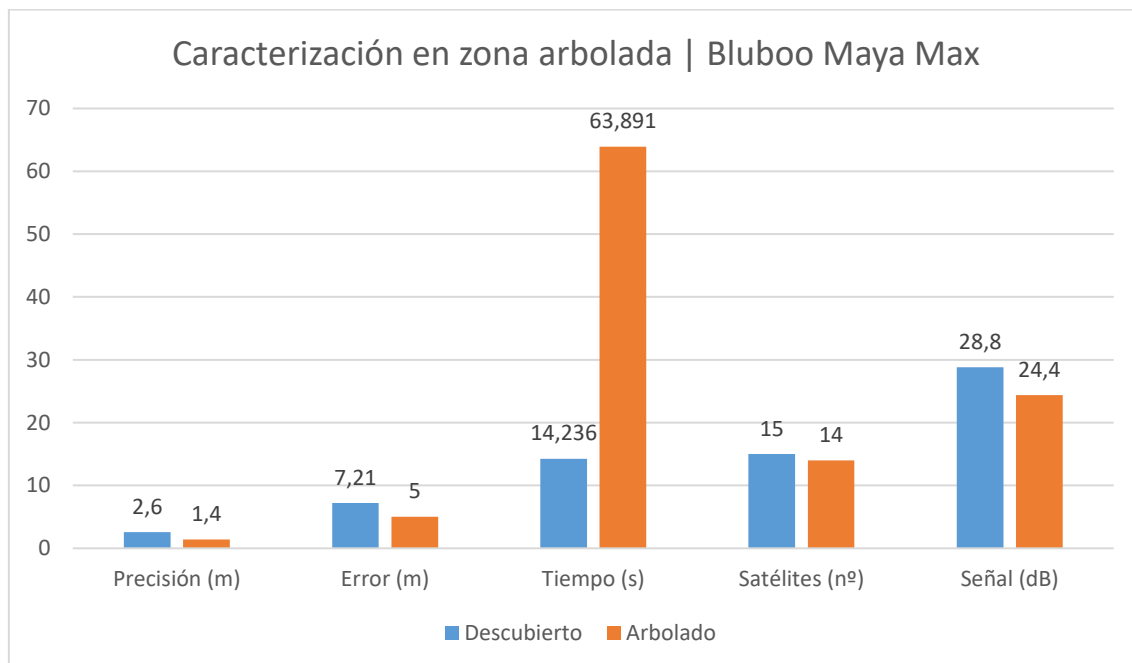
En cuanto a la cobertura, se hace evidente que a partir de los 10 metros de profundidad resulta complicado si quiera obtener posicionamiento.

#### 10.3.1. Demostración del efecto multipath y reflexión de señal

Por otro lado, **la posición calculada aparece en puntos alejados de la posición real, en dirección hacia fuera de cada entrada del túnel dependiendo del lado en que se mide**, lo cual se puede entender como que la señal reflejada proviene de la posición mal calculada (precisión radial + URE) de los satélites que percibe indirectamente por ese lado (señal satélite reflejada).

## 10.4. Características de la señal en zona arbolada

El siguiente gráfico hace referencia a los datos obtenidos en el estudio de la señal en zona arbolada realizado en el parque de la universidad. Véase “9.4 Características de la señal en zona arbolada”.



Podemos deducir que el tiempo de posicionamiento (**TTF**) aumenta drásticamente, pasando de 14 segundos a 63 segundos, aumentando un 348% (**se cuadruplica**).

También parece producirse una atenuación causada por los obstáculos de la vegetación, pasando de 28,8 dB a 24,4dB (empeora un 15,27%).

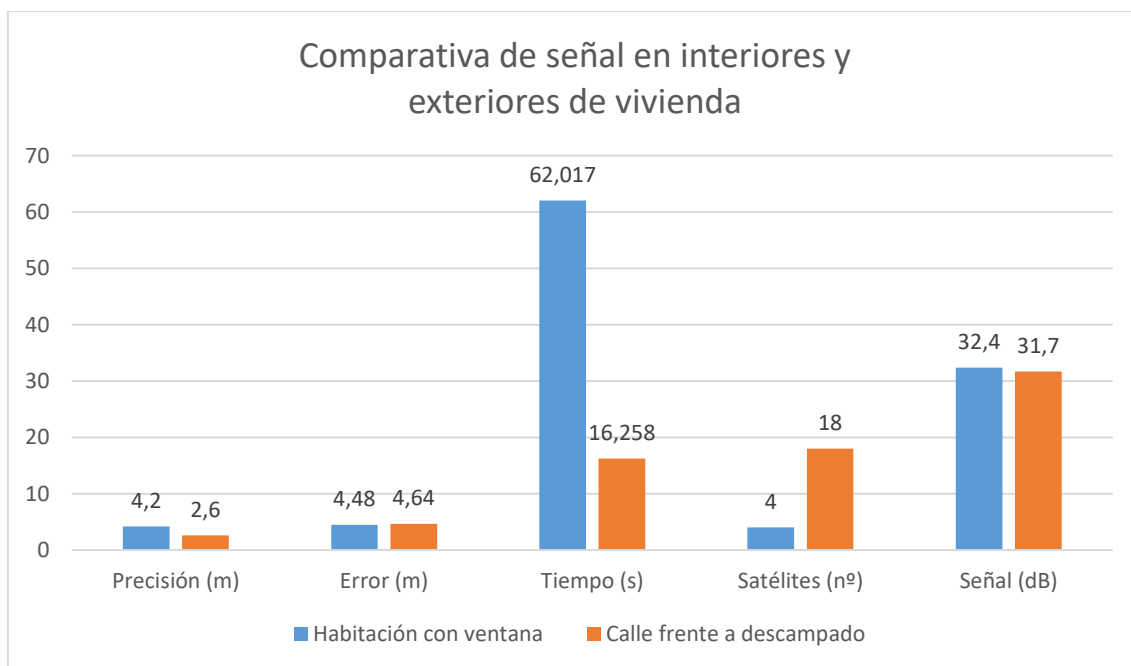
Pero ¿Qué está ocurriendo con el resto de los valores?

### 10.4.1. Impacto de la memoria caché del dispositivo

El motivo de (a pesar de encontrarnos en una zona arbolada) ser capaces de obtener precisiones y errores más pequeños es debido al tiempo invertido en el posicionamiento una vez determinada la posición inicial; se ha dejado que el dispositivo recalculé una y otra vez la posición bajo las condiciones dadas, mejorando progresivamente la precisión y el error en la medición. Esto nos hace ver el impacto que tiene la caché en la reiteración de las coordenadas durante el posicionamiento de puntos estáticos.

No obstante, cabría investigar con más detalle el efecto de la memoria almacenada en el error real y la precisión marcada.

## 10.5. Comparativa de la señal en interiores y exteriores de vivienda



Es significativo el empeoramiento del TTF respecto a condiciones menos bloqueantes (TTF similar al detectado durante la prueba de entorno arbolado).

Por otra parte, la precisión es ciertamente peor si la comparamos con una zona despejada (aun cuando en ambas pruebas se ha dejado estabilizar el posicionamiento mediante el recalculado del punto estático de medición).

Otra característica relevante es la cobertura de los satélites; a penas 4 satélites e incluso 3 en ciertos momentos tras el primer posicionamiento (recuérdese, es necesario mínimo 4 satélites para determinar el posicionamiento inicial). No obstante, la calidad de señal de estos pocos satélites es buena si se compara con otras mediciones.

### 10.5.1. Sobre la cobertura y consistencia de señal en interiores

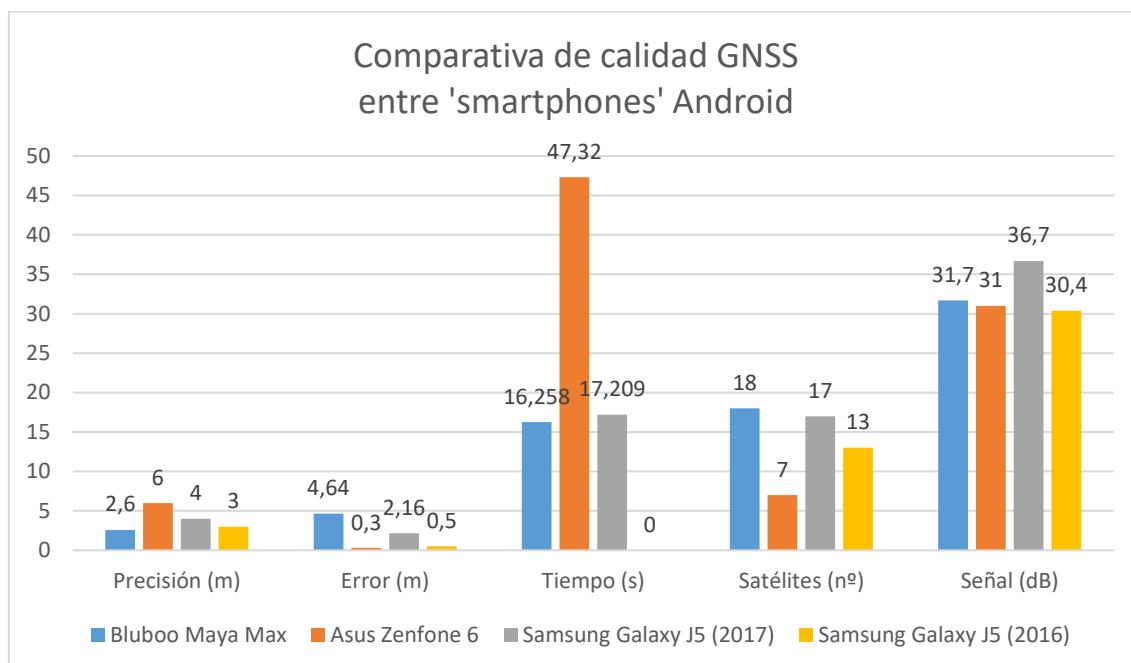
En conclusión y comparando los resultados obtenidos en interior con los resultados de una zona descubierta, empeora enormemente el TTF, **la pérdida de cobertura es significativamente mayor** y la precisión se ve afectada.

En cuanto a la calidad de señal media en el caso de interiores, se puede deducir que los pocos satélites obtenidos en el posicionamiento podrían estar casualmente con buen ángulo hacia la ventana; puesto que se trata de una primera planta, se tiene buena cobertura, pero solo de los satélites cuya posición incida en el ángulo de visión de la ventana.

Otro aspecto a tener en cuenta es la **consistencia** del posicionamiento; puesto que la cobertura oscila entre valores inferiores a 4 satélites, se pierde la cobertura constantemente.

## 10.6. Diferencias de la calidad GNSS entre dispositivos

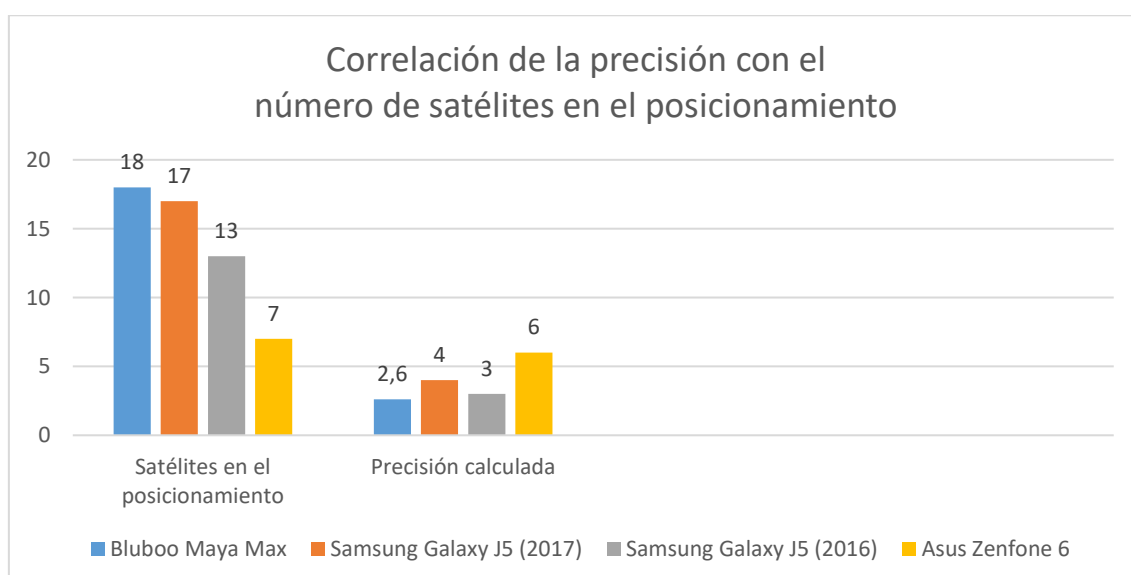
A continuación, se analizan los datos del posicionamiento para varios dispositivos de forma simultánea, en un mismo punto. Los datos son extraídos del estudio de campo "9.1 Datos de navegación en distintos dispositivos".



### 10.6.1. Correlación de precisión con el número de satélites en el posicionamiento

La información que el dispositivo utiliza para calcular los datos de precisión y posición se obtiene de los satélites enlazados durante la navegación de modo que, a mayor número de satélites enlazados, el dispositivo tendrá mayor predisposición a obtener mejores precisiones.

En el estudio realizado se percibe esta correlación, de modo que los dispositivos con mayor capacidad de recepción satélite tienden a obtener mejores precisiones.



Se deduce, que el cambio en la cantidad de satélites recibidos es debido a la diferencia de constelaciones satélite admitidas por cada dispositivo; el Bluboo Maya Max es capaz de recibir señal de las constelaciones GPS y GLONASS, mientras que el Asus Zenfone 6 solo de GPS.

## 10.6.2.      Apreciación sobre la capacidad técnica del dispositivo

Por otro lado, el tiempo del primer posicionamiento (TTF) es significativamente mayor en el dispositivo ASUS. En principio, podría ser debido a la baja disponibilidad de satélites en el posicionamiento, ya que el dispositivo en cuestión es incapaz de enlazar con satélites de la constelación GLONASS, a diferencia de los otros dispositivos comparados.

Sin embargo, recuérdese que el posicionamiento es posible cuando el dispositivo enlaza con al menos cuatro satélites. Dicho de otro modo, si el dispositivo está bajo la cobertura de señal de cuatro satélites de las constelaciones que su SoC admite, el posicionamiento se efectúa.

Si tenemos en cuenta esto, y sabiendo que la calidad de la señal recibida es similar para todos los dispositivos en el caso en cuestión, podemos asociar el alto TTF en el dispositivo ASUS del estudio con su baja capacidad de procesamiento de los datos GPS, aunque solo sea un indicio.

## 10.6.3.      Fiabilidad de un dispositivo en el posicionamiento

En cuanto a la precisión, el Asus Zenfone es de 3 a 5 metros menos preciso según los datos, pero si contemplamos el error radial (URE) comprobamos que mejora frente al Bluboo, demarcando una fiabilidad significativa de la precisión en la que el dispositivo Bluboo falla: El dispositivo Bluboo tiende a obtener errores muy superiores a la precisión marcada; del orden del 178% de error frente a precisión.

Si entendemos que un dispositivo es fiable en términos de precisión cuando la posición real del dispositivo se encuentra dentro del radio de precisión calculado, podemos decir que **la fiabilidad del Bluboo Maya Max es de 0,36 frente al 1,05 que se deduce para el dispositivo Asus** en base a las mediciones mostradas, siendo 1 una fiabilidad absoluta y 0 una fiabilidad nula.

$$fiabilidad = \frac{precisión - error}{precisión}$$

A este ratio, faltaría restarle el error agregado de la herramienta de verificación empleada (Google Maps) que, como se dijo, puede presentar imprecisiones y dificultad para medir el error, pues la casuística de los entornos y las funcionalidades de la herramienta no son óptimos para determinar de forma tan precisa la localización.

Se ha estimado de forma vaga, que la desviación del error puede variar entre 0,5 y 1 metro según el entorno y la posición (incluso más) para la herramienta de Google.

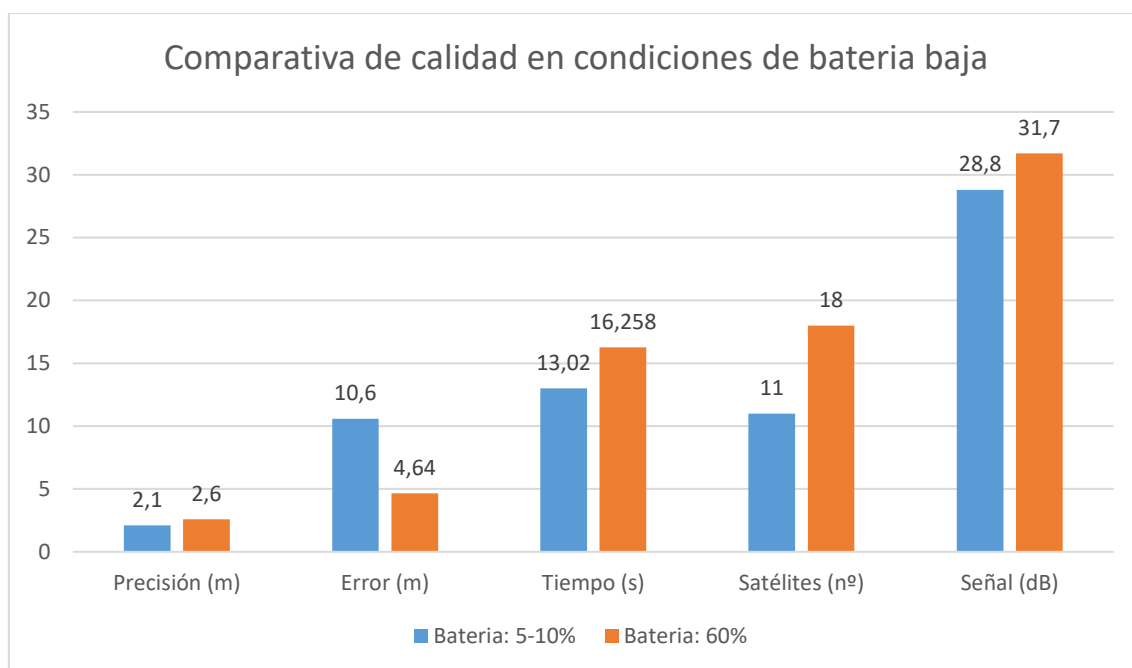
Podemos decir, por tanto, que el dispositivo Samsung Galaxy J5 (2017) con SoC **Equinox 7870** en las pruebas, es el dispositivo más fiable en cuanto a localización se refiere, pues su error real es el más bajo y su precisión es mayor o igual a este. Además, presenta una calidad en la recepción de señal destacable de 36,7dB frente a los 28 – 31 detectados en mediciones con otros dispositivos en condiciones similares.

#### 10.6.4. Importancia del desgaste del dispositivo en la fiabilidad

Por último, cabe mencionar que el dispositivo Samsung Galaxy J5 (2016) presentó cierto malfuncionamiento durante las mediciones, quedando impreciso en el tiempo del primer posicionamiento (TTF) y congelando la posición calculada durante decenas de segundos.

Es un dispositivo gastado, que ha sido utilizado muy a menudo. Por ello, se ha decidido tomar en consideración que **el desgaste de los componentes del dispositivo en el posicionamiento puede afectar a la fiabilidad de este**, empeorando la experiencia de navegación.

#### 10.7. Capacidad de recepción en condiciones de batería baja



Es difícil extraer una conclusión precisa de los datos analizados, pues las mediciones se realizan en fechas y horarios distintos.

La diferencia de satélites en el posicionamiento puede ser debido al estado de la batería; el ahorro energético del dispositivo en batería baja podría afectar al rendimiento del SoC. Pero también puede deberse a la disposición espacial de los satélites globales en ese momento (cobertura de los satélites). Por tanto, es difícil extraer una conclusión mínimamente fundamentada respecto al impacto de la batería con estos datos concretos.

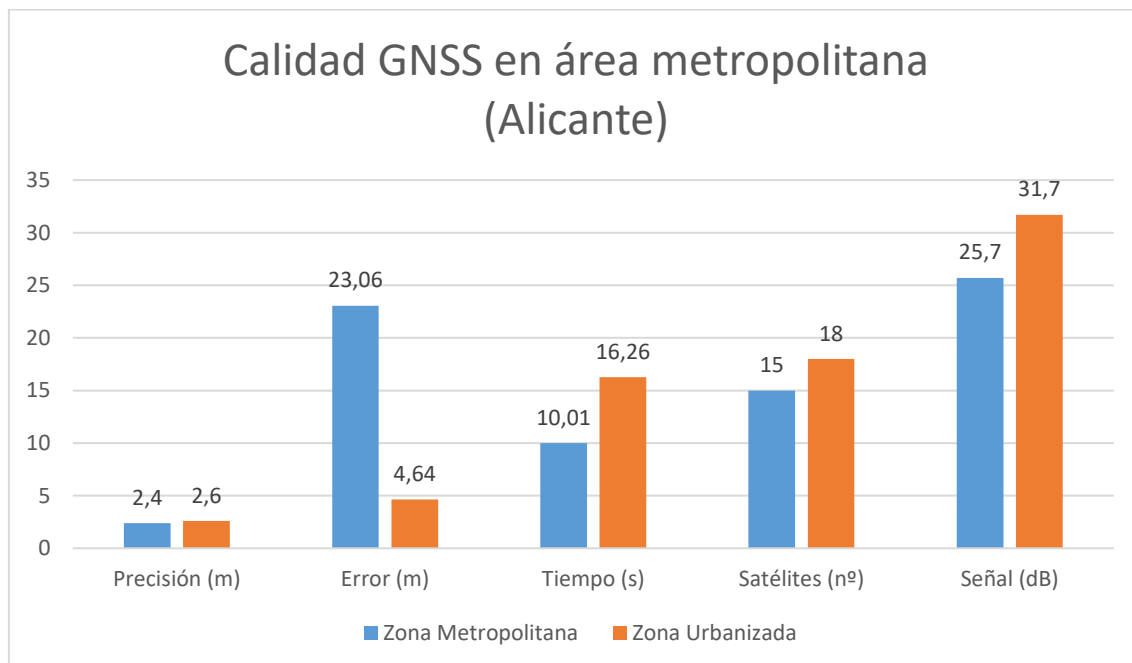
El caso ideal podría pasar por emplear dos baterías (intercambiables) en un mismo lugar, o dos dispositivos “contrastadamente equivalentes” y con distinto porcentaje de batería.

Si tomamos los resultados como válidos (léanse los párrafos anteriores), se podría decir que hay una diferencia de la capacidad de recepción/procesamiento de señal y se traduce en un aumento del error calculado.

Pero, los datos del estudio han sido insuficientes para demostrar lo que se pretendía respecto a mediciones con batería baja.

## 10.8. Caracterización de señal en zonas metropolitanas

Se pretende contrastar las características de señal en zona metropolitana frente a zona urbanizada, en base a los datos de zona metropolitana obtenidos en el estudio de campo. Véase “9.7 Capacidad de recepción en zonas metropolitanas”.



El dispositivo en cuestión demuestra una imprecisión notable de 23 metros de error (URE) en el entorno metropolitano estudiado.

### 10.8.1. Importancia de la corrección de señal en el posicionamiento GNSS (monofrecuencia)

La cantidad y calidad de recepción de señal es buena, pero **el efecto de reflexión de los edificios**, y la incapacidad tecnológica de las bandas de frecuencia menos modernas (sin el uso de L5/E5a (multifrecuencia) ni mejoras asistidas) para detectar la desviación de la señal, **hacen que el error se dispare**.

Se ha estudiado que el uso de multifrecuencia sería capaz de corregir el efecto multipath que provocan los edificios. Faltaría demostrar la otra parte, probando SoCs multifrecuencia y comparando el error detectado.



## 11. Trabajo futuro

### 11.1. Ampliación en las funcionalidades y servidor de análisis

Durante el desarrollo, han quedado pendientes algunos requisitos del sistema para el almacenado, contextualizado y procesado de los datos que se generan.

En caso de continuar con el trabajo propuesto, se pretendería cubrir los aspectos definidos en el análisis de requisitos para **mejorar la reutilización de los datos**.

Además, se plantea la idea de trabajar en una herramienta de análisis de los datos capaz de generar mapas de calor con los datos de calidad de señal y otras funcionalidades de **representación gráfica de los datos en el plano** con objeto de facilitar la extracción de conclusiones. La solución podría tener como objetivo aportar datos abiertos que sirvan en la creación de nuevas funcionalidades y en proyectos como SmartUA.

### 11.2. Reflexión sobre casos futuros en el estudio con 'smartphones'

Pensando en las prestaciones futuras de los dispositivos móviles, podría caber pensar en el uso de estos en **entornos acuáticos y subacuáticos** en un futuro cercano. La explotación y el análisis de datos GNSS podría entonces basarse en entornos con dichas características.

Otra propuesta de futuro podría ser el uso de los dispositivos en la asistencia y **navegación autónoma de vehículos** en carretera. En dicho caso, sería de interés centrar el estudio en la calidad detectada en viaje.

También se propone la idea de buscar **problemas de interferencia de señal UHF** (rango de frecuencias satélite) para detectar problemas en las bandas de frecuencia L1/E1 y prevenir fallos en sistemas de navegación y transmisión de datos.

### 11.3. Aplicabilidad en el ámbito comercial y empresarial

En cuanto al ámbito comercial, el estudio de la calidad GNSS podría aportar datos y conclusiones que faciliten nuevas funcionalidades relacionadas con el IoT, la navegación autónoma, navegación de drones, predicción analítica del entorno y otros aportes derivados del estudio de la señal aplicados a las nuevas tendencias y tecnologías emergentes.

### 11.4. Actualización del sistema operativo en Bluboo Maya Max

Se especula sobre la actualización del firmware/software del dispositivo Bluboo Maya Max, empleado en las pruebas realizadas.

De ser efectiva, la actualización podría dar acceso a las prestaciones de Raw GNSS Measurement disponibles en Android 7.0 (Nougat) y al uso de satélites Galileo no disponibles en el firmware actual del dispositivo.

En dicho caso, sería interesante contrastar las nuevas funcionalidades del SoC integrado en la nueva versión del sistema.

## Referencias

1. Artículo publicado por Gartner, Inc. empresa de análisis y consultoría, haciendo referencia a su propio reporte de febrero de 2018, *"Market Share: Final PCs, Ultramobiles and Mobile Phones, All Countries, 4Q17"*. Disponible en:  
<https://www.gartner.com/newsroom/id/3859963>
2. Artículo recopilatorio de conceptos relativos a la historia y evolución de la tecnología GPS, profundizando en protocolos, tipos de señal y sus características. Disponible en:  
<http://geoconnect.com.au/gps-signals-l1-l2-l5/>
3. Se hace referencia a los principios matemáticos de "correlación" y "ortogonalidad", muy presentes en el ámbito de la carrera por su relación con el sistema binario y las asignaturas de programación. Más información en:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Correlation\\_and\\_dependence](https://en.wikipedia.org/wiki/Correlation_and_dependence)  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonality>
4. Concepto teórico del marco de las redes de computador, impartido en la asignatura del grado con el mismo nombre. Más información en:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Code-division\\_multiple\\_access](https://en.wikipedia.org/wiki/Code-division_multiple_access)
5. UNIVERSIDAD FERMÍN TORO VICERRECTORADO ACADÉMICO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERIA Actividad 5 Participantes: Joshua Méndez CI. 24712677 Juan Rivero CI. 23485512 CABUDARE, FEBRERO 2015. Disponible en:  
<https://es.slideshare.net/JoshuaMNoriega/modulacion-de-seales-en-la-comunicacion-satelital>
6. Fuente original de la Agencia Espacial Europea (ESA). Navipedia. Más información:  
[http://www.navipedia.net/index.php/Ionospheric\\_Delay](http://www.navipedia.net/index.php/Ionospheric_Delay)
7. Natalia Garrido-Villén, Profesora de la Universitat Politècnica de València. GNSS market. GPS market. UNIT 1: GNSS MARKET. Disponible en:  
<https://es.slideshare.net/nataliagarrido2012/gnss-market-gps-market>
8. Listado de productos GNSS/GPS de la compañía Broadcom®. Más información:  
<https://www.broadcom.com/products/wireless/gnss-gps-socs>
9. Documentación del API android.location. Más información:  
<https://developer.android.com/reference/android/location/package-summary>
10. Garrett Seepersad, PhD candidate in "Precise Positioning using multi-GNSS". Artículo sobre "What are code and Carrier phase measurement in GPS". Disponible en:  
<https://www.quora.com/What-are-code-and-carrier-phase-measurement-in-GPS>
11. Daniel Casanova – Satellite constellations: properties and applications. Salou, November 10, 2016. DANCE Network. Ddays 2016. Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza, España. GME-IUMA, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España. Disponible en:  
[http://www.dance-net.org//files/events/ddays2016/materiales/02-mecanica\\_celeste/01-casanova.pdf](http://www.dance-net.org//files/events/ddays2016/materiales/02-mecanica_celeste/01-casanova.pdf)
12. Documentación del API com.google.android.gms.location. Más información:  
<https://developers.google.com/android/reference/com/google/android/gms/location/package-summary>
13. Documentación del framework RawGNSS measurements. Más información:  
<https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss>
14. Representación gráfica creada con la versión de prueba de la herramienta Balsamiq. Referencia: <https://balsamiq.com/>

15. Ejemplo de aplicación usando librerías de Google en Android. Enlace: <https://android-developers.googleblog.com/2012/12/new-google-maps-android-api-now-part-of.html>
16. Estadística del uso de dispositivos Android según su versión en la actualidad. Enlace: <https://www.statista.com/statistics/271774/share-of-android-platforms-on-mobile-devices-with-android-os/>
17. Web Oficial Gubernamental de la Tecnología GPS. Referente a Precisión. Enlace: <https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>
18. Publicación de la compañía Broadcom anunciando receptores multi-frecuencia para 'smartphones'.  
<https://www.gsa.europa.eu/newsroom/news/broadcom-announces-world-s-first-dual-frequency-gnss-receiver-smartphones>
19. Artículo sobre multi-frecuencia en dispositivos Android - Sean Barbeau, Principal Mobile Software Architect for R&D at University of Florida. Enlace: <https://medium.com/@sjbarbeau/dual-frequency-gnss-on-android-devices-152b8826e1c>
20. Especificaciones técnicas sobre el SoC MT6750 de Mediatek. Web Oficial. <https://www.mediatek.com.es/products/smartphones/mt6750>
21. Receptores StarFire para uso agrícola en maquinarias autónomas de recolección. <https://www.deere.es/es/soluciones-de-gesti%C3%B3n-agron%C3%B3mica/receptores-y-monitores/receptor-starfire-6000/>
22. Herramienta de diseño de diagramas. Lucidchart. <https://www.lucidchart.com/>
23. Estudio de la señal a nivel físico. <http://gpsworld.com/positioning-with-android-gnss-observables/>
24. Comparativa Oficial de Qualcomm para sus SoCs más recientes. <https://www.qualcomm.com/snapdragon/processors/comparison>

# Apéndice I: Ejemplos de uso de Google Maps y com.google.android.gms

Ejemplo de uso de Google Maps para la navegación.

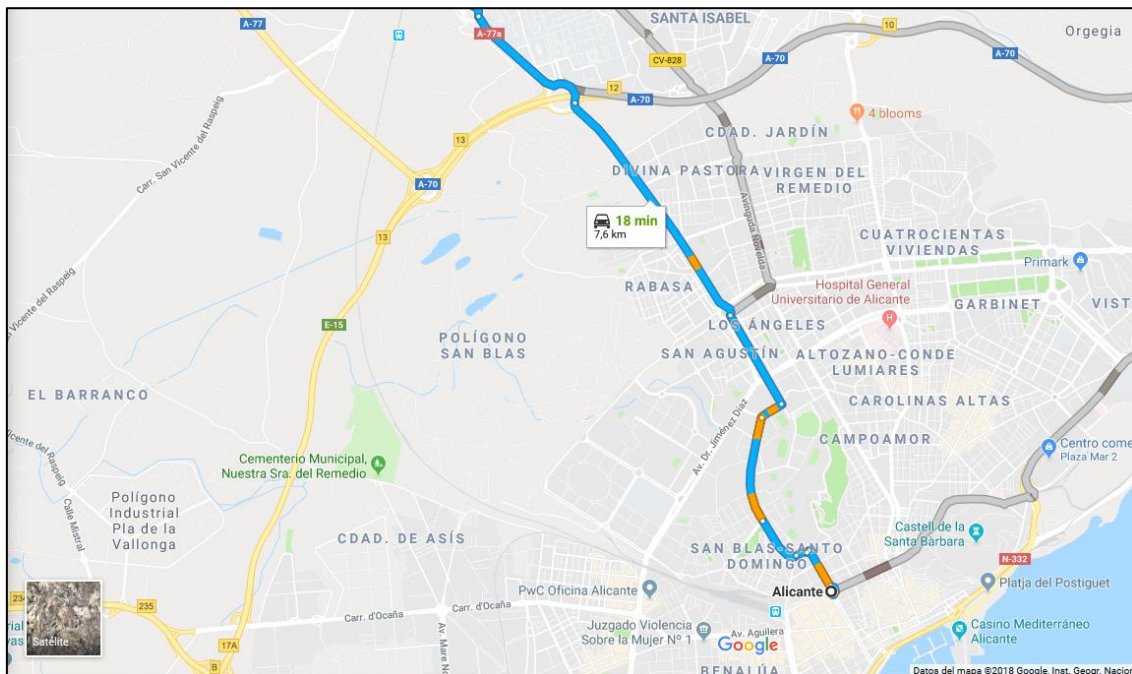


Figura 13: Ejemplo de uso de Google Maps

Ejemplo de aplicación haciendo uso de la librería com.google.android.gms citada [15].

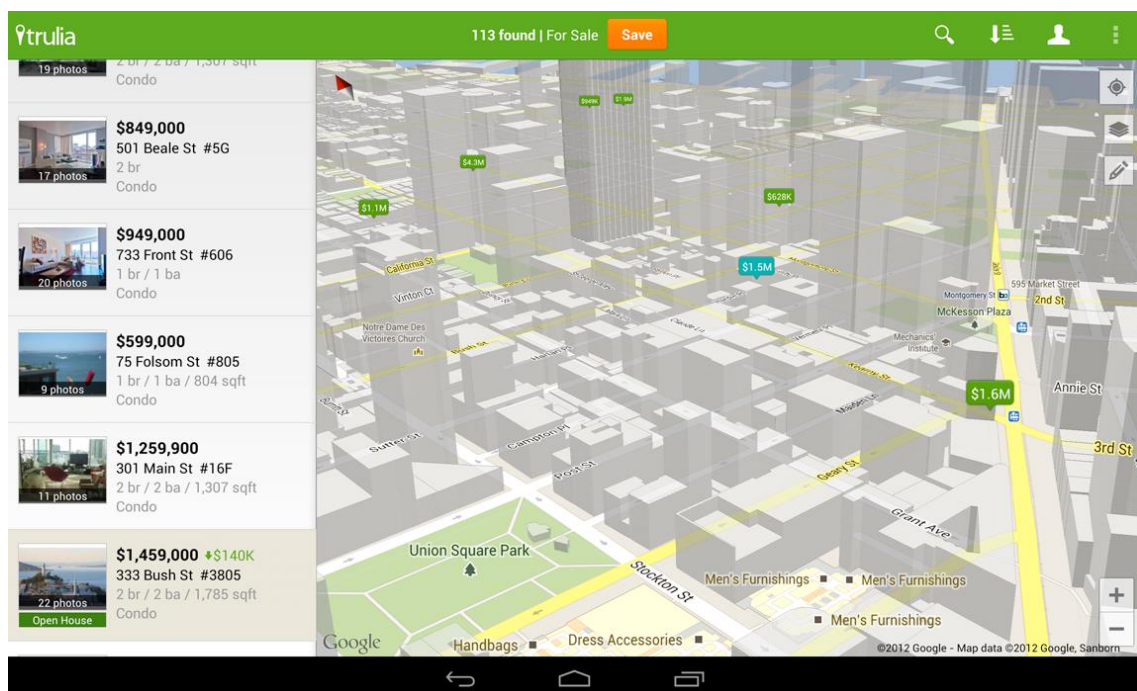


Figura 14: Ejemplo de uso de com.google.android.gms en una aplicación

## Apéndice II: Mediciones experimentales durante la fase inicial de pruebas.

*Estudio de campo para la caracterización de la señal GNSS, en términos de calidad del posicionamiento.										Indica que la prueba se basa en "GPS Test", y no en mi app.		
*Las mediciones se guardan tras dejar que el posicionamiento se estabilice (unos 10-20 segundos después del primer posicionamiento).										Indica que la prueba se ha realizado con mi app, con escritura manual.		
	Fecha	Hora	Coordenadas	Precisión (m)	Satélites (nº)	Entorno	Meteorología					
	dd/mm/yy yy	hh:mm	x1 ; y1	p	n	e	t			Indica que la prueba se realizó con mi app, sin tarjeta SIM.		
									*Comparado con Google Maps			
ID	Fecha	Hora	Lugar	Precisión (m)	Satélites (nº)	Entorno	Meteorología	AVG. SNR	POS. TIME (s)	Battery	Distancia Real	Valoración
*ejemplo	05/07/2018	0:05	Puerto	3.0	12-15	Urbanizado	Raso	18,3	3.587	56%		
1	06/07/2018	11:20	Trabajo	N/A	1-2	Interior	Raso	16	N/A	48%		
2	06/07/2018	15:38	Casa	3	11-15	Descubierto	Raso	20		39%		
3	06/07/2018	18:57	Casa	5	8-11	Descubierto	Raso	18		36%		
4	16/07/2018	20:14	Casa, Descampado	1,6	16	Descubierto, Urbanizado	Raso	26,9	5.508	86%	OK	
5	16/07/2018	21:13	Burguer 37, Terraza	1,8	15	Terraza, Urbano, Pueblo	Raso	25,4	5.523	78%	7,52 m	
6	16/07/2018	22:00	Puerto, Peaje	1,4	18	Urbanizado, Descubierto	Raso	30,4	3.024	77%	OK	
7	16/07/2018	22:33	Casa, Descampado	1.5	17	Descubierto, Urbanizado	Raso	28,5	3.019	76%	OK	
8	17/07/2018	7:53	Casa, Cama	3.0	8	Interior, Persiana Bajada	Raso	22,6	7.021	90%	17,81 m	
9	20/07/2018	10:24	Trabajo, Mesa	6.8	3-4	Interior, Persiana medio bajada	Nublado	21,6	19.666	52%	57,59 m	
10	20/07/2018	18:18	Peluquería	6.5	5	Interior, Flanqueado	Raso	17,4	27.013	44%	46,49m	
11	20/07/2018	20:56	Casa, Descampado	1.4	18	Descubierto, Urbanizado	Raso	28,5	2.004	38%	¿5,42m?	
12	20/07/2018	22:52	Puerto, Peaje	1.6	19	Urbanizado, Descubierto	Raso	26,5	3.010	36%	¿3.49?	
13	26/07/2018	19:58	Casa, Descampado	0.9	16	Descubierto, Urbanizado	Raso	29,8	26.005	89%	OK	
14	27/07/2018	18:51	Casa, Descampado	2.7	17	Descubierto, Urbanizado	Raso	28,6	3.013	74%	OK	
15	27/07/2018	18:56	Casa, Descampado	2.0	16	Descubierto, Urbanizado	Raso	30,7	3.053	74%	2.6	

## Apéndice III: Correo del GSC acerca del dispositivo Bluboo Maya Max.

Se formalizó una pregunta al “Centro Europeo de Servicio a la Tecnología GNSS” (**GSC**) sobre por qué un dispositivo con un procesador (MT6750) preparado para la recepción Galileo no obtiene dichas prestaciones en el uso de GNSS y la respuesta es la siguiente:

“...The compatibility depends on several factors as the chipset, version, region and most important if the manufacturer has enabled Galileo in this device. Once the device is Galileo enabled whatever app used for navigation, in principle will use the Galileo signal to compute the position and speed used by the application to navigate.

Regarding Bluboo Maya Max, and taking into account the information we have today, it is not Galileo enabled. However, the chipset installed in this smartphone (Mediatek MT6750), it is used in other devices (e.g. LG Q stylus) that are Galileo enabled. In the meantime, we recommend you to contact directly with the manufacturer specifying your smartphone version and region where you purchased it to obtain more detailed and precise information, to know if in a future firmware or software release the Bluboo Maya Max may be Galileo enabled.

Currently, we are refining all the information available in the [usegalileo.eu](https://usegalileo.eu) website (“[Going Mobile](#)” section) in order to clarify the compatibility of the devices depending on the factors presented above. Please, let us know if you have any other doubt about any other chipset or smartphone...”.

(European GNSS Service Centre)